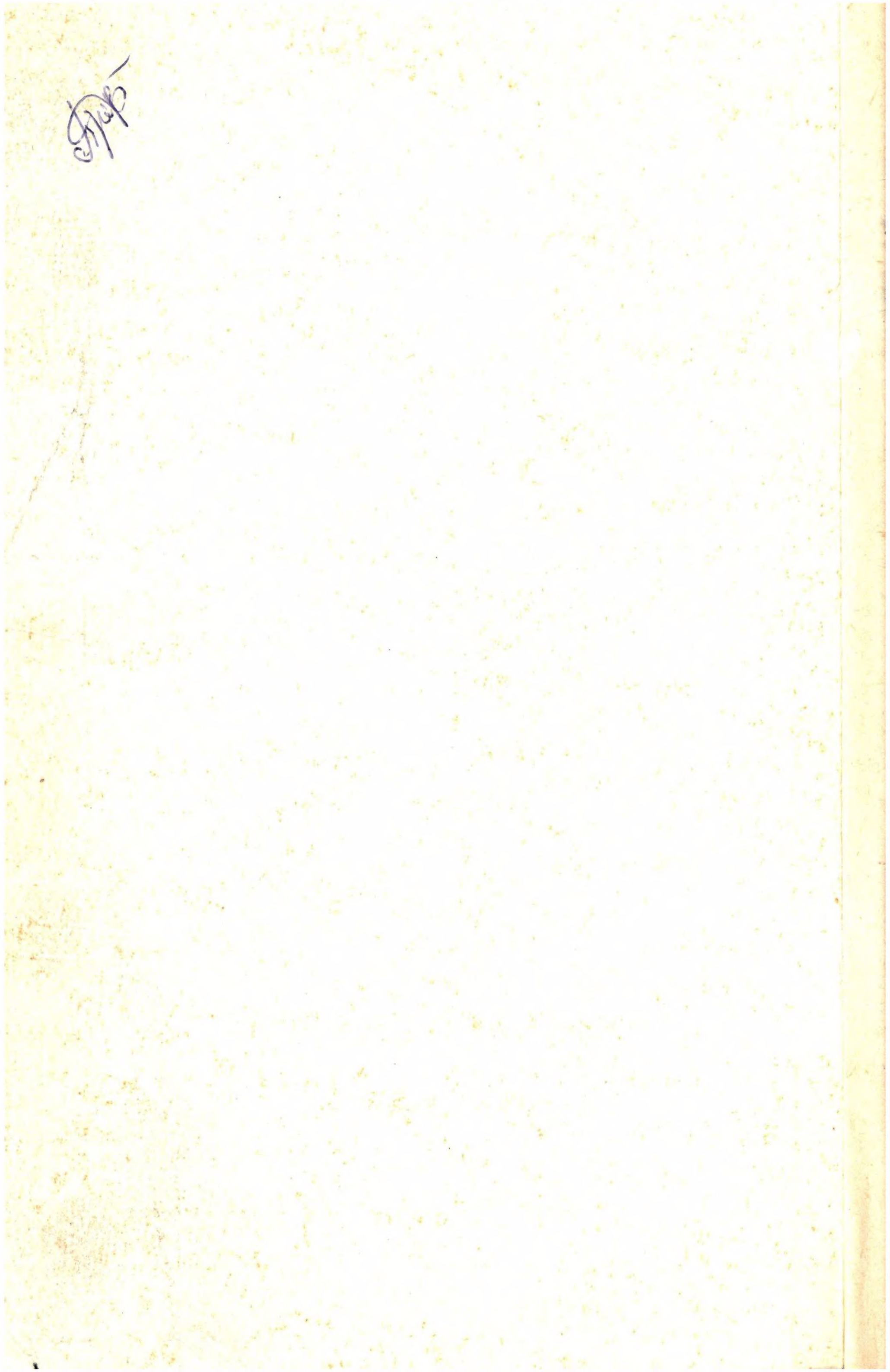
ВОПРОСЫ СЕНСОРНОГО ВОСПРИЯТИЯ



МВ и ССО РСФСР
УРАЛЬСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А. М. ГОРЬКОГО

ВОПРОСЫ СЕНСОРНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Межвузовский сборник научных трудов

СВЕРДЛОВСК · 1982

Печатается по постановлению редакционно-издательского совета Уральского ордена Трудового Красного Знамени государственного университета им. А. М. Горького

В межвузовском сборнике представлены теоретические и экспериментальные исследования сенсорного восприятия и рецепции. Анализируются информационные аспекты проявления психофизических зависимостей. Обсуждаются границы применимости законов Вебера — Фехнера и Стивенса. Приводятся экспериментальные данные о влиянии различных факторов на психофизические зависимости, об особенностях субъективного шкалирования, обусловленных модальностью стимулов, порядком их предъявления. В сборник вошли также материалы прикладного характера: исследования кожной и мышечной чувствительности к действию сапропеля.

УДК 612.821

И. А. РЫБИН

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ СЕНСОРНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Проблема связи между внешним физическим миром и возникающим при его воздействии сенсорным ответом, то есть между объективным и субъективным, давно привлекает пристальное внимание исследователей. Первоначально она была сформулирована как отношение между физическим и психическим. Основателем классической психофизики был Фехнер, который предложил первое уравнение, получившее название основного психофизического закона Вебера — Фехнера:

$$\varphi = k \log I, \qquad (1)$$

где $I = i/i_0$ — сила раздражения в относительных единицах абсолютного порога восприятия, φ — величина ощущения, k — константа, зависящая от выбора основания логарифма. Фехнер опирался на данные Вебера о постоянстве отношения при возникновении порогового ощущения $\Delta I/I$. Полагая, что $\Delta\varphi$ при этом также постоянно во всей области раздражений, и заменяя конечные приращения дифференциалами, он получил уравнение:

$$\frac{dI}{I} = kd\,\varphi, \qquad (1A)$$

интегрирование которого и дало логарифмическую зависимость (1). Уравнение (1А) многократно подвергалось критическому анализу [1]. В последние десятилетия это связано с работами Стивенса [2—10]. В статье, полемически озаглавленной «Воздадим должное Фехнеру, но пересмотрим его закон» [6], Стивенс прямо объявляет этот закон укоренившимся недоразумением и указывает, что между объективной и субъективной шкалами существует не логарифмическая, а степенная зависимость:

$$\psi = k'I^n, \qquad (2)$$

где $I = i/i_0$ — величина раздражения в относительных единицах абсолютного порога, ψ — интенсивность ощущения, n — константа, определяемая экспериментально для разных модальностей, k' — коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора масштаба шкалы ощущений.

Преимущество степенной зависимости в описании психофизической функции заключается в том, что она охватывает практически весь диапазон воспринимаемых раздражений, тогда как

логарифмическая зависимость реализуется лишь в ограниченном интервале раздражений. В отсутствие теоретического пути решения вопроса о том, какой из форм связи следует отдать предпочтение, специалисты-психофизики склоняются к степенной зависимости как более пригодной для практического использования. Однако прагматический подход к проблеме оставляет в стороне, но не снимает необходимости объяснения, почему та или иная форма зависимости имеет место. Это становится еще более очевидным, если учесть, что современные исследования соотношения стимул — сенсорный ответ не исчерпываются психофизикой. К настоящему времени существует большое число работ, в которых репрезентативность уравнений (1) и (2) проверяется в электрофизиологическом плане и на разных уровнях организации сенсорных систем. Как показывает обзор подобной литературы, почти все исследователи сходятся во мнении, что связь между величинами раздражения и величиной первичных рецепторных (генераторных) потенциалов описывается логарифмической функцией [11—20]. Такая же зависимость имеет место и для частоты импульсации в волокнах первого сенсорного нейрона [21—23]. Более противоречивы наблюдения на других уровнях сенсорных систем. Здесь одними авторами отмечается логарифмическая зависимость [24, 25], другими — степенная [26—28]. Хотя между электрофизиологическими и психофизическими показателями нельзя ставить знак тождества, существование логарифмической зависимости, по крайней мере в отдельных звеньях сенсорных систем, можно считать доказанным.

В свете сказанного заслуживает внимания обсуждение вопроса о сосуществовании двух типов зависимости и выяснение причин подобного дуализма. Особенно важно, как нам кажется, провести сравнительный анализ посылок, приводящих к логарифмической и степенной зависимости. Это, возможно, облегчило бы поиски ответа на основной вопрос проблемы: почему та или иная форма зависимости имеет место.

Обратимся вначале к закону Вебера — Фехнера. Современные исследования показывают, что способность к различению двух близких стимулов не остается постоянной во всем диапазоне раздражений. В средней части этого диапазона она достигает наибольшей величины и в некоторой области стимулов остается примерно на этом уровне, а при приближении к нижней и верхней границам монотонно снижается [29]. Экспериментально установлено, что только в области наибольших и постоянных значений чувствительности достаточно строго соблюдается логарифмическая зависимость. Одновершинная форма кривых чувствительности (характеризуемая величиной, обратной дифференциальному порогу различения) предопределяет совпадение области константности дифференциального порога с областью наивысшей остроты различения в шкале стимулов [30, 31]. Нетрудно видеть, что совместное выполнение логарифмической зависимо-

сти (1) и постоянства дифференциального порога различения в одной и той же области раздражений является необходимым и достаточным условием для реализации основного допущения Фехнера — постоянства минимального прироста ощущения $d\varphi$. В свою очередь, допущение Фехнера в свете сказанного — это не просто произвольный математический прием, а условие, отображающее нахождение сенсорной системы в наиболее благоприятном для различения стимулов режиме. Заслуга Фехнера заключается в том, что он предугадал это условие, а ошибка — в экстраполяции этого условия на весь диапазон раздражений.

В работах Стивенса и его последователей убедительно показано, что степенная зависимость лучше описывает психофизические кривые в широком диапазоне силы раздражения. Уравнение (2) — эмпирическое, введенное без каких-либо теоретических допущений. Эффективные и разнообразные методы тестирования ощущения позволили Стивенсу доказать объективный характер этих кривых. Аппроксимация этих кривых привлекает простотой аналитического выражения.

Преимущество степенной зависимости, как уже говорилось, состоит в ее большей универсальности. Однако параллельная реализация степенной и логарифмической зависимости в области раздражений, где последняя имеет место, не означает их слияния. Согласование уравнений (1) и (2) в этой области в принципе невозможно. Действительно, условие $dI/I = \text{const}$ для степенной и логарифмической зависимости означает, что

$$\left.\begin{aligned} \frac{d\psi}{\psi} &= \text{const} \\ d\varphi &= \text{const} \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

соответственно. Условия постоянства относительного и абсолютного прироста ощущения совместимы лишь в тривиальном случае $\psi = \text{const}$, если, разумеется, величины φ и ψ в уравнениях (1) и (2) имеют один и тот же смысл, что, как мы увидим ниже, не очевидно.

Итак, логарифмическая и степенная функции имеют различную степень приложимости к описанию психофизической зависимости. Некоторые авторы, отмечая сходство в определенных пределах логарифмической и степенной функции, считают, что это позволяет в ряде случаев описывать один и тот же набор данных как той, так и другой зависимостью [32]. Из принципиальной несовместимости уравнений (1) и (2) следует, что это допустимо лишь с формальной точки зрения.

Измеряемой величиной в исходном уравнении Фехнера (1) была едва различимая разница между стимулами, которая рассматривалась как мера возникающего при этом прироста ощущения $d\varphi$. В опытах Стивенса определение ψ основывалось на оценке субъектом сравнительной интенсивности двух и более дистантных стимулов, то есть отстоящих по интенсивности на

расстояния, значительно превосходящие пороги различения. Например, один из подобных способов оценки в работах Стивенса состоял в подборе испытуемым стимула удвоенной или половинной интенсивности по отношению к заданному [33]. Является ли различный методический подход к оценке ощущения еще одним фактором, приводящим к разного вида уравнениям (1) и (2)? Вопрос можно поставить по-другому: насколько существенно зависит восприятие двух стимулов от дистанции между ними в шкале раздражений? При нахождении едва различимых разностей определяющую роль играет разрешающая способность сенсорной системы. При нахождении степенной зависимости решающим фактором является способность к количественному сравнению дистантных стимулов. Для построения шкалы субъективных ощущений в последнем случае испытуемый должен произвести операцию сравнения стимулов и, следовательно, иметь некоторую меру величины ощущения. Эта мера должна зависеть от предшествующего опыта субъекта и от памяти сенсорных систем.

Таким образом, в случае логарифмической зависимости определяющей является способность органов чувств к дифференцированию стимулов, при нахождении степенной функции — способность к их интегративному восприятию. В основу определения психофизической связи, как видим, в том и другом случае положены различные операции анализаторных систем. Дифференцирование может осуществляться уже на входе, и это подтверждают электрофизиологические данные, упомянутые выше. Интегративная оценка ощущений, по-видимому, реализуется в корковых отделах мозга.

Мы обсудили некоторые стороны психофизических уравнений по Фехнеру и по Стивенсу. При этом отмечались: 1) реальность обеих зависимостей; 2) несводимость их друг к другу; 3) различная степень их представительства в тех или иных проявлениях связи «стимул — ощущение». Все это привело нас к предположению, что логарифмическая и степенная функции являются равноправными закономерностями деятельности органов чувств, хотя сферы их проявления различны. Поэтому вопрос о функциональной связи сенсорных ответов с величиной раздражения следует ставить не альтернативно, а в плане отыскания более общей закономерности, включающей уравнения (1) и (2) как частные случаи, имеющие место при определенных условиях.

Каким требованиям должна удовлетворять подобная зависимость? Во-первых, уравнения (1) и (2) эмпирические, выведенные на основе экспериментальных данных и предназначенные для удовлетворительного их описания. Отсутствие теоретической базы — самый существенный, на наш взгляд, недостаток этих уравнений. Поэтому основой для нахождения новой функции должны быть некоторые теоретические соображения, вытекающие из принципов функциональной организации сенсорных сис-

тем. Во-вторых, из независимости показателей φ и ψ следует, что новая функция должна содержать, по крайней мере, два независимых параметра ощущения, соответствующие φ и ψ. Один из них должен быть ответствен за разрешающую способность восприятия, другой — за шкалирование значительно различающихся воздействий.

Ниже обсуждается один из возможных путей удовлетворения этих требований.

Благодаря сенсорным системам организм получает информацию о внешней среде. Этот информационный процесс начинается с преобразования рецепторами внешнего физического воздействия в поток импульсации. Этот поток вызывает сложные нервные процессы, о механизме которых мы знаем еще далеко не достаточно, но в результате которых, несомненно, происходит извлечение информации о внешней среде и ее анализ. Иными словами, сенсорные системы по роду своей деятельности являются системами информационными. В этом отношении психические и электрофизиологические связи представляют собой внешние, феноменологические проявления информационной сущности процессов, протекающих между входом и выходом органов чувств. Информационные процессы должны осуществляться в соответствии с законами, управляющими «информодинамикой». Допустимо и обратное: как бы ни была сложна деятельность сенсорных систем, существуют соотношения теории информации, хотя бы в самом грубом приближении отображающие организацию сенсорной деятельности. Заметим, что мысль о причастности к обсуждаемым зависимостям информативной деятельности сенсорных систем уже высказывалась в литературе. Так, Раштон [34] предположил, что логарифмический вид зависимости «стимул — ответ» на входе органов чувств (рецепторный аппарат) используется сенсорными системами ввиду его особых преимуществ. При помощи этого кода любая сенсорная система обеспечивает максимальную величину информации при любом уровне интенсивности стимула и оптимальное соотношение «сигнал/шум». Аналогичную мысль высказывает Кейдель [29].

Среди попыток найти общую основу для объединения логарифмической и степенной зависимостей следует назвать работу Забродина и Лебедева [41]. В ней предлагается ввести некоторый параметр z и записать психофизический закон в общем виде:

$$\frac{dR}{R^z} = K\frac{dS}{S},$$

где R — величина ощущения, S — величина стимула, K — коэффициент пропорциональности. При $z=0$ это уравнение описывает закон Вебера — Фехнера, а при $z=1$ — закон Стивенса. Однако, как отмечают сами авторы, это обобщенное уравнение было предложено из формально-математических соображений,

и интерпретация параметра z сталкивается с рядом трудностей, связанных с обусловленностью его экспериментальными условиями получения психофизической зависимости.

За исходный принцип отражения внешнего мира органами чувств следует принять адекватность этого отражения внешнему воздействию. Постулируем, что между некоторым показателем сенсорной деятельности S и воздействием на вход сенсорной системы i существует эквивалентное соотношение:

$$i = i_0 S,$$

где i_0 — коэффициент пропорциональности. Или

$$I = S, \qquad (4)$$

где $I = i/i_0$. I — некоторая физическая характеристика, по которой сенсорная система способна различать внешние воздействия. Вообще говоря, это может быть любой физический параметр или их комбинация, но для простоты в дальнейшем будем оперировать понятием количества раздражения. Особо следует сказать о коэффициенте пропорциональности i_0. Он был по аналогии с уравнениями (1) и (2) назван тем же индексом, что и абсолютный порог ощущения, поскольку он и здесь является мерой величины воспринимаемого раздражения. Однако смысл этой постоянной иной. Так как в правой части равенства (4) стоит величина, означающая некоторый объем информации, коэффициент пропорциональности i_0 представляет собой информационный эквивалент физического воздействия внешней среды на органы чувств. Биологическому смыслу и методам определения абсолютного порога ощущения уделяется большое внимание в психофизике [35]. Может быть, подобный взгляд на величину i_0 позволит по-иному взглянуть на проблему абсолютного порога?

Эффективная работа рецепторов состоит в полном и точном отображении раздражающего действия в некоторый объем афферентных сигналов. Возникающий и затем преобразуемый в совокупность нервных сигналов образ внешнего воздействия должен быть адекватен этому воздействию, следовательно, содержать всю возможную информацию о нем в пределах разрешающей способности рецепторного аппарата в данных условиях. Объем всей возможной информации о внешнем воздействии I и будет определять величину S. Теория информации показывает, что количество сигналов m, необходимое для передачи всех возможных сообщений объемом S, связано с S следующим соотношением [36]:

$$S = A^m, \qquad (5)$$

где A — число различных сигналов кода, в котором записывается информация. Принцип адекватного отражения сенсорными

системами внешних воздействий с учетом равенства (5) получает следующее выражение:

$$I = A^m. \quad (6)$$

Итак, мы получили уравнение, связующее I с двумя параметрами, характеризующими сенсорную деятельность как информативную. Один из них, m, определяет «длину сообщения». Применительно к ответу сенсорной системы на стимуляцию он может быть оценен в зависимости от уровня и способа регистрации генераторным потенциалом, частотой импульсации или каким-либо другим объективным или субъективным показателем, коррелирующим с количеством возбуждения, проходящего по афферентным путям. Однако количество возбуждения не может, вообще говоря, быть исчерпывающей характеристикой восприятия, поскольку оно не учитывает информативную значимость тех или иных сигналов, поступающих с периферии. Кроме того, на разных уровнях сенсорных систем может происходить расшифровка и перекодирование поступающего потока сообщений, в результате чего число сигналов может уменьшиться, но информативный вес их увеличится [37].

Наконец, воспринимающая способность системы может быть различной в зависимости от величины используемых интенсивностей раздражения. Очевидно, что чувствительность рецепторов не может быть одинаковой во всем воспринимаемом диапазоне раздражений. Где-то она будет относительно выше, и здесь будет получена более подробная информация, а где-то — ниже, и восприятие будет беднее. Эти качественные вариации в работе сенсорных систем позволяет учесть второй параметр правой части уравнения — A. Информационный смысл его — число различных сигналов или состояний, кодирующих информацию. Применительно к рецепторному аппарату и к сенсорной системе в целом A может означать качественное разнообразие кодирующих элементов или состояний сенсорной системы на разных уровнях организации и в разных областях воспринимаемого диапазона раздражений.

Уравнение (6) может быть использовано для описания работы органов чувств. Для этого необходимо связать параметры m и A с конкретными психическими или физиологическими показателями. Покажем, что из уравнения (6) в принципе могут быть получены уравнения логарифмического и степенного вида как некоторые частные случаи.

Полагая A=const и логарифмируя уравнение (6), получим уравнение, аналогичное закону Вебера — Фехнера:

$$m = \frac{\log I}{\log A}. \quad (7)$$

Аналогом величины ощущения φ здесь выступает количество сигналов m, в которых кодируется раздражение (с точностью

до постоянного множителя k). Это хорошо объясняет электрофизиологические данные, в которых была установлена логарифмическая зависимость генераторных потенциалов и импульсной активности от силы раздражения.

Если положить постоянным параметр m, то получится степенная зависимость

$$A = I^{n'} \qquad (8)$$

где $n' = 1/m$. Аналогом функции ψ здесь выступает другой параметр A (с точностью до постоянного множителя k').

Рассмотрим подробнее уравнения (7) и (8). Прежде всего отметим, что в первом случае изменяется величина потока афферентных сигналов, а во втором изменяется «алфавит», кодирующий информацию. В первом случае происходят количественные изменения, во втором — качественные. По-видимому, качественные изменения могут происходить лишь при достижении определенного критического уровня количественных.

Константность параметра A означает, что число различных сигналов (состояний), кодирующих афферентную информацию, остается постоянным в данном режиме. Это может иметь место только в том случае, когда изменения в силе раздражения не приводят к изменениям «параметра качества» A, то есть тогда, когда речь идет о различении достаточно близких по величине раздражений. Именно дифференциальные свойства органов чувств были использованы Фехнером при выводе уравнения (1). В подобной ситуации различение осуществляется вариациями потока импульсации, вызываемыми стимулами. Можно предположить, что интервал раздражений, внутри которого реализуется подобный механизм восприятия, неширок, и когда он превышается, воспринимающая система либо увеличивает число кодирующих сигналов (состояний), либо осуществляет какую-либо иную операцию, оптимизирующую качество восприятия. Здесь можно провести аналогию с переключением диапазонов в измерительных приборах, когда сравниваемые сигналы не укладываются в пределы шкалы. Хотя наши рассуждения и умозрительны, они удовлетворительно объясняют, почему закон Вебера — Фехнера действует лишь в ограниченном диапазоне интенсивностей стимулов. Выше говорилось, что рабочим диапазоном для логарифмической зависимости является область, где имеет место условие $dI/I = const$, которое достаточно хорошо выполняется в средней части воспринимаемого диапазона раздражений. Однако если наши рассуждения не лишены оснований, то и на периферических участках шкалы стимулов закон Вебера — Фехнера должен соблюдаться, но в более узких пределах и тем уже, чем круче изменяется кривая чувствительности. Это утверждение возможно проверить экспериментально.

Вернемся теперь к той части нашей статьи, где показывается несовместимость степенной и логарифмической зависимости

даже в том диапазоне раздражений, где последняя имеет место. Там было показано, что условие, при котором обе зависимости будут иметь место, заключается в совместном выполнении двух равенств (3). Полагая, что φ и ψ выражают одну и ту же величину ощущения, мы показали, что такое требование выполняется в тривиальном случае: $\psi = \text{const}$. Но при этом было подчеркнуто, что тождество φ и ψ хотя и подразумевается, но не очевидно. Из уравнения (8) следует, что A с поправкой на постоянный множитель k' соответствует функции ψ в уравнении (2). Поэтому условие константности ψ аналогично $A = \text{const}$ в уравнении (6). Но последнее условие отнюдь не тривиально: оно означает некоторую область в шкале ощущений, в которой имеет место логарифмическая зависимость. Отсюда ясно, что условие $\psi = \text{const}$ означает не точку в шкале ощущений, как это следует из формулы Стивенса (2), а некоторую область, внутри которой отсчет ощущений идет не по Стивенсу, а по Фехнеру. Одновременно это условие, очевидно, означает и нижнюю границу интервалов ΔI, шкалирование которых возможно методами Стивенса.

Степенная зависимость (8), аналогичная уравнению (2), получается при условии постоянства m — величины, характеризующей поток импульсации при действии раздражителей. Возможен ли одинаковый поток импульсации при различных интенсивностях раздражения, как этого требует условие $m = \text{const}$ для степенной зависимости, и как это постоянство согласуется с тем, что изменяется величина A? При анализе уравнений (1) и (2) отмечалось, что интегральная оценка ощущений в опытах Стивенса, вероятней всего, осуществляется в высших уровнях сенсорных систем, в то время как преобразование раздражений в поток импульсации в рецепторном аппарате реализуется по логарифмическому закону. Поэтому на поставленный вопрос можно получить ответ, если допустить, что изменение величины A происходит не непосредственно под воздействием раздражителя, а в результате каких-то изменений, происходящих в потоке афферентной импульсации, например при достижении ее определенного критического уровня $m_{кр}$. Нетрудно видеть, что такой способ восприятия наиболее просто объясняет условие изменения A, но, как будет показано в дальнейшем, это условие может быть и не столь определенным.

Общая картина восприятия по Фехнеру и по Стивенсу, вытекающая из анализа частных случаев (7) и (8) уравнения (6), может быть представлена следующим образом. При увеличении интенсивности раздражения, начиная с некоторой I_0, восприятие происходит при некотором постоянном значении A_0 и осуществляется по логарифмической функции до критического значения $m_{кр}$. Достижение этого критического уровня «переключает» диапазон A_0 на следующий — A_1, и вплоть до $m_{кр}$ восприятие вновь происходит по логарифмической зависимости и т. д.

Мысль о существовании многоступенчатой шкалы восприя-

тия (в нашей модели это диапазоны, характеризуемые различными значениями параметра А), уже высказывалась. Волкман [38], анализируя способность к субъективному шкалированию стимулов в различных участках физического континуума, пришел к заключению, что сенсорные системы должны иметь переменную систему единиц измерений стимула во всем диапазоне его восприятия. Весь диапазон делится на поддиапазоны (субсерии), внутри которых оценка осуществляется в определенных единицах. В каждом поддиапазоне эти единицы отсчета постоянны (это требование аналогично в нашем случае A=const). Основная идея этой модели, таким образом, заключается в том, что значительные количественные изменения в вызванной раздражением импульсации приводят к определенной перенастройке сенсорного восприятия, направленной на его оптимизацию в данных условиях. Здесь возможно важное обобщение. По-видимому, любые значительные изменения в условиях работы сенсорного аппарата могут переводить его функционирование из одного поддиапазона в другой, характеризуемый другим набором А. Этим можно объяснить данные, подобные тем, которые были получены Подвигиным [39]. Им было показано, что логарифмическая зависимость b-волны электроретинограммы может переходить в степенную в некоторых экстремальных условиях работы сетчатки (малая площадь стимула, состояние световой адаптации, малое время действия раздражителя). По-видимому, при этих условиях работы переход к степенной зависимости увеличивает чувствительность зрительной системы.

Предложенная нами непрерывно-дискретная модель сенсорного восприятия снимает некоторые трудности логарифмической и степенной зависимости, относящиеся к их применению в области раздражений, близких к нулю и соизмеримых с величиной абсолютного порога ощущений.

Так, в уравнении (1), если $\frac{dI}{I} = \text{const}$, то абсолютный порог должен быть равен нулю при $I=0$. Этого в действительности не наблюдается. Фехнер пытался исправить этот недостаток, вводя дополнительную константу α:

$$\frac{\Delta I}{I+\alpha} = \text{const},$$

(это условие при $I \gg \alpha$ превращается в $\frac{\Delta I}{I} = \text{const}$). Однако этого не требуется, если исходить из равенства (7). Поскольку оно справедливо при условии $A=\text{const}$, то, дифференцируя, получим

$$dm = \frac{1}{\text{lod } A} \cdot \frac{dI}{I} \cdot \tag{9}$$

По определению, А не может быть меньше единицы. При $A=1$

воспринимающая система способна различать наличие или отсутствие стимула по закону «все или ничего», но не способна анализировать этот стимул. Действительно, при определении абсолютного порога ощущения испытуемый в состоянии дать ответ, замечает он или не замечает появление стимула, но бессмысленно спрашивать его о величине раздражения. Отсюда следует, что переход к припороговой области раздражений приводит к ситуации, соответствующей $A=1$. И если это так, то уравнение (9) становится неопределенным ($\log A=0$) и дальнейшая интерполяция логарифмической зависимости в область близких к нулю значений I теряет смысл. Это делает излишними ухищрения, к которым пришлось прибегать Фехнеру. Нетрудно видеть, что по тем же соображениям в формуле Стивенса не требуется поправки для обеспечения $\psi=0$ при $I=0$ (ее мы опустили при записи уравнения (2).

Необходимо указать и на другое важное следствие, вытекающее из представленной здесь модели процесса восприятия. Логарифмическая функция — непрерывная в пределах заданного A. Степенная зависимость дискретна, и для каждого I существует некоторый минимальный интервал ΔI, менее которого шкалирование ощущений по Стивенсу невозможно. Следовательно, интерполяция экспериментальных точек в опытах по Стивенсу непрерывной кривой столь же незаконна, как и экстраполяция логарифмической зависимости за пределы этого интервала. Это утверждение было экспериментально проверено [30, 31].

Восприятие раздражений, близких к абсолютному порогу, как сказано, сводится к различению наличия или отсутствия стимула, и эта ситуация характеризуется минимальным разнообразием кодирующих сигналов (состояний): $A=1$. Но то же самое, очевидно, должно иметь место и у верхней границы воспринимаемого диапазона раздражений. Известно, что существует верхний порог, выше которого сенсорная система неспособна к различению. Это можно объяснить перегрузкой рецепторного аппарата, достижением предела его функциональных возможностей. Но известно также и то, что способность к оценке относительной величины стимулов начинает снижаться еще задолго до достижения верхнего порога восприятия [31]. То же происходит и с величиной дифференциального порога различения [29]. Все эти хорошо известные факты могут рассматриваться как свидетельство того, что «параметр качества» A уменьшается при приближении к верхней границе воспринимаемого диапазона раздражений вплоть до $A=1$. Но это значит, что между этими крайними значениями должна находиться область, где A достигает максимальной величины. По смыслу параметра A эта область должна характеризоваться наиболее эффективной работой сенсорной системы и наиболее богатой информацией о внешних воздействиях. Биологическая целесообразность подобной избирательности восприятия не требует пояснений. Но здесь мы

сталкиваемся с противоречием: в формуле Стивенса (2) величина ψ монотонно возрастает, в то время как ее информационный аналог A имеет экстремум в средней части диапазона раздражений, а к его краям снижается.

Подойдем к этому вопросу с другой стороны. Как уже говорилось, шкала степенной зависимости дискретна, а логарифмической непрерывна и заполняет промежутки между дискретными значениями степенной функции. В то же время кривая зависимости силы ощущения от величины раздражения должна быть непрерывной во всем воспринимаемом диапазоне раздражений. Это значит, на кривой должны существовать точки, в области которых величины ощущения по Фехнеру и по Стивенсу совпадают:

$$\varphi_{н} = \psi_{н}. \qquad (10)$$

Здесь взяты нормированные значения φ и ψ, то есть разделенные на коэффициенты пропорциональности k и k′ соответственно. Согласно (7) и (8), условие «стыковки» логарифмической и степенной функций можно записать как

$$\frac{\ln I}{\ln A} = I^{n} \qquad (11)$$

(выбор основания логарифма здесь не имеет значения). Это условие непрерывности шкалы ощущений приводит к ряду следствий, которые могут быть полезны при экспериментальной проверке предлагаемой модели. Найдем из (11) положение максимума A в шкале раздражений:

$$\frac{d(\ln A)}{dI} = \frac{1}{I^{n'+1}}(1 - n' \ln I) = 0,$$

откуда при любых конечных значениях I условие максимума A:

$$I = e^{1/n'}, \qquad (12)$$

и для нахождения A_{max} имеем равенство

$$n' \cdot \ln A_{max} = \frac{1}{e}. \qquad (13)$$

Можно теперь воспользоваться этим равенством для определения наибольшего числа различных сигналов (состояний), которыми кодируется информация о внешних воздействиях в различных органах чувств. В работах Стивенса [40] были эмпирически найдены показатели степени n для большого числа модальностей. Было показано, что эта величина для разных ощущений варьирует в пределах от 0,2 до 2,1:

n	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	2,1
A_{max}	6,3	3,3	2,5	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,1

Таким образом, классификация различных модальностей по n,

данная Стивенсом, может быть осмыслена с точки зрения более содержательного, на наш взгляд, параметра A_{max}.

Аналитический вид зависимости A от I можно получить, если преобразовать равенство (11) к виду

$$n' \ln A = \frac{\ln x}{x}. \quad (14)$$

Здесь $x = I^{n'}$. В правой части равенства стоит функция, изменяющаяся в пределах от 0 до 1/e. При $x=0$ и $x=\infty$ она обращается в нуль и A принимает значение, равное единице. Если n' постоянна во всем диапазоне раздражений, то вид A легко находится из этого уравнения. Однако, как показывает эксперимент, эта величина варьирует в зависимости от выбора диапазона интенсивностей стимулов, в котором она получается [30]. В исследованиях Стивенса n оценивалась по углу наклона прямой, проведенной через экспериментальные точки на графике зависимости $\lg \psi$ от $\lg I$. Обычный математический прием для нахождения такой прямой — метод наименьших квадратов — дает усредненные значения постоянных. Поэтому использование значений n, указанных в работах Стивенса, для определения A было вполне обоснованным, поскольку найденная таким путем прямая должна проходить через точку максимума A. Но когда речь идет обо всем диапазоне раздражений, то здесь имеют место отклонения n от среднего значения в ту и другую сторону. Отсюда и условие для получения равенства (8), аналогичного степенной функции (2), $m_{кр} = const$, также может быть менее жестким и означать некоторую среднюю величину $m_{кр}$ в диапазоне вариаций ее в различных участках шкалы раздражений. Все это вносит элемент неопределенности в уравнение (14) и не позволяет однозначно задать вид функции A. Но это одновременно означает, что степенная зависимость ψ от I с некоторым постоянным показателем степени n может оказаться при ближайшем рассмотрении лишь удачным приближением к реальной зависимости. Это, конечно, не снимает противоречия, которое обнаруживается при анализе поведения A в нашей модели и его эмпирического аналога в уравнении (2). Но указанный выше путь к его разрешению (n' — варьирующая величина) допускает экспериментальную проверку. Методами, которыми Стивенс получил прямую зависимость $\lg \psi$ от $\lg I$ во всем диапазоне раздражений, можно исследовать более подробно участки в нижней, средней и верхней частях диапазона. Такие исследования действительно показывают [30], что наименьшие значения n' (что должно соответствовать наибольшим значениям A) наблюдаются в средней части диапазона интенсивностей стимула, подтверждая тем самым наличие в этой области экстремума A.

На этом закончим сравнительный анализ эмпирических уравнений (1) и (2) с зависимостями, вытекающими из теоретического равенства (6). Нам еще мало известно о механизмах фор-

мирования ощущений, и это, естественно, затрудняет сопоставление теоретических моделей сенсорных процессов с их реальной функциональной организацией. В этой связи положительными сторонами предлагаемой модели являются следующие.

1. Более общее представление о сущности сенсорной функции, нежели психофизические и электрофизиологические процессы, которые рассматриваются как внешнее феноменологическое проявление внутренних (информационных) законов, управляющих этой деятельностью.

2. Исходные теоретические посылки для нахождения уравнения (6): принцип адекватности сенсорного восприятия внешнему воздействию, эквивалентность объема афферентной информации величине внешнего воздействия — обладают большей степенью общности и справедливы для всех уровней сенсорных систем.

3. Формула (6) дает объяснение сосуществованию логарифмической и степенной зависимости и некоторым особенностям их проявления в области их компетентности.

4. Ряд следствий, вытекающих из анализа биологического смысла параметров, входящих в формулу (6), поддается опытной проверке. Это позволяет получить экспериментальные аргументы за или против предлагаемой модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Stevens S. S.** A scale for the measurement of a psychological magnitude: loudness.— Psychol. Rev., 1936, v. 43, p. 405.

2. **Stevens S. S.** Mathematics, measurement and psychophysics.— In: Handbook of experimental psychology. N.Y., 1951, p. 1.

3. **Stevens S. S.** The direct estimation of sensory magnitudes — loudness.— Amer. J. Psychol., 1956, v. 69, p. 1.

4. **Stevens S. S.** On the psychophysical law.— Psychol. Rev., 1957, v. 64, p. 153.

5. **Stevens S. S.** On the new psychophysics.— Scand. J. Psychol., 1960, v. 1, p. 27.

6. **Stevens S. S.** To honour Fechner and repeal his law.— Science, 1961, v. 133, p. 80.

7. **Stevens S. S.** Matching functions between loudness and ten other continua.— Percept. a. Psychophys., 1966, v. 1, p. 5.

8. **Stevens S. S.** Issues in psychophysical measurement.— Psychol. Rev., 1971, v. 78, p. 426.

9. **Stevens S. S.** A neural quantum in sensory discrimination.— Science, 1972, v. 177, p. 749.

10. **Stevens S. S.** Sensory power functions and neural events.— In: Handbook of sensory physiology. N.Y., 1971, v. 1, p. 226.

11. **Granit R.** Sensory mechanisms of the retina. London. Oxford Univ. Press, 1947.

12. **Gray J. A. B, Sato M.** Properties of the receptor potential in Pacinian corpuseles.— J. Physiol., 1953, v. 122, p. 610.

13. **MacNicol E. F.** Visual receptors as biological transducers.— In: Molecular structure and functional activity of nerve cells. Amer. Inst. of Biol. Sciences. Washington, 1956.

14. **Katz B.** Action potentials from a sensory nerve ending.— J. Physiol., 1950, v. 111, p. 248.

15. **Cone R. Q.** The early receptor potential of the vertebrate eye.— Cold Spr. Harb. Symp. Quant. Biol, 1965, v. 30, p. 483.
16. **Loewenstein W. R.** Exitation and inactivation in a receptor membrane.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 1961, v. 94, p. 510.
17. **Loewenstein W. R.** Facets of a transducer process.— Cold Spr. Harb. Symp. Quant. Biol., 1965, v. 30, p. 29.
18. **Шевелев И. А.** Синхронизация начального афферентного потока в зрительной системе.— Журн. высш. нервн. деят., 1965, т. 15, с. 550.
19. **Подвигин Н. Ф.** Анализ ИЭРГ сетчатки лягушки.— Пробл. физиол. оптики, 1966, т. 13, с. 5.
20. **Tomita T., Kaneko A., Murakami M., Poutler E. L.**— Spectral response curves of single cones in the carp.— Vision Res., 1967, v. 7, p. 519.
21. **Эдриан Э.** Основы ощущений. М., 1931.
22. **Matthews B. H. C.** The response of a single end organ.— J. Physiol., 1931, v. 71, p. 64.
23. **Granit R.** Centrifugal and antidromic effects on ganglion cells of retina.— J. Neurophysiol., 1955, v. 18, p. 388.
24. **Глезер В. Д.** Механизмы опознания зрительных образов. М.— Л., 1966.
25. **Lipetz L. E.** The transfer functions of sensory intensity in the nervous system.— Vision Res., 1969, v. 9, p. 1205.
26. **Mountcastle V. B., Poggio G. F., Werner G.** The relation of thalamic cell response to peripheral stimuli varied over and intensive continuum.— J. Neurophysiol., 1963, v. 26, p. 807.
27. **Werner G., Mountcastle V. B.** The variability of central neural activity in a sensory system and its implications for the central reflection of sensory evens.— J. Neurophysiol., 1963, v. 26, p. 958.
28. **Brown A. G., Iggo A.** A quantitative study of cutaneus receptors and afferent fibres in the cat and rabbit.— J. Physiol., 1967, v. 193, p. 707.
29. **Кейдель В. Д.** Физиология органов чувств. Общая физиология органов чувств и зрительная система. М., 1975, ч. 1, с. 32.
30. **Рыбин И. А., Сергеева А. Н., Муромцева Г. А.** О некоторых особенностях субъективных шкал яркости.— Физиол. человека, 1980, т. 6, вып. 3, с. 451.
31. **Лупандин В. И., Рыбин И. А.** Исследование степенной функции Стивенса для восприятия яркости.— Физиол. журн. СССР, 1980, т. 66, № 11, с. 1640.
32. **Greutzfeldt O. D.** Discussion of Mountcastle V. B.— The neural replication of sensory events in the somatic afferent system.— In: Brain and Conscious Experience. N. Y., 1966, p. 110.
33. **Stevens S. S.** The psychophysics of sensory function.— In: Sensory communication. Cambridge M. I. T. Press, 1961, p. 1.
34. **Раштон У.** Периферическое кодирование в нервной системе.— В сб.: Теория связи в сенсорных системах. М., 1964, с. 53—64.
35. **Бардин К. В.** Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М., 1976.
36. **Голдман Д.** Теория информации. М., 1957.
37. **Прибрам К.** Языки мозга. М., 1975, с. 84.
38. **Volkman J.** A quantal model for psychophysical magnitude and differential sensitivity.— In: Sensation and Measurement. Dordrecht — Boston, 1974, p. 177.
39. **Подвигин Н. Ф.** О нелинейных преобразованиях сигнала в сетчатке.— В сб.: Исследование принципов переработки информации в зрительной системе. Л., 1970, с. 28.
40. **Stevens S. S.** On the validity of the loudness scale.— J. Acoust. Soc. Amer., 1959, v. 31, p. 995.
41. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977.

2 Заказ 157

УДК 612.821

В. И. ЛУПАНДИН

ПРОБЛЕМА СУБЪЕКТИВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ В ПСИХОФИЗИКЕ

В настоящее время почти ни у кого не вызывает сомнений тот факт, что для понимания сущности предметов и явлений окружающего мира недостаточно изучения их качественных проявлений. Для того чтобы проникнуть в сущность вещей, необходимо установление количественных закономерностей, описывающих характер взаимосвязи тех или иных процессов или явлений. Впервые эту необходимость сформулировал гениальный Ньютон, провозгласивший вслед за Галилеем, что «природа говорит с человеком на языке математики». Более развернутую формулировку необходимости математического описания объектов научного исследования дал в первой половине XIX столетия Гербарт. Он писал: «Всякая теория, которая желает быть согласованной с опытом, прежде всего должна быть продолжена до тех пор, пока не примет количественных определений, которые являются в опыте или лежат в его основании. Не достигнув этого пункта, она висит в воздухе, подвергаясь всякому ветру сомнения и будучи не способной вступить в связь с другими, уже окрепшими воззрениями» (цит. по [1]). Эти слова, несомненно, имеют отношение не только к точным наукам, но и к таким областям знания, как физиология и психология, в которых исследование строгих количественных закономерностей и математическое описание изучаемых объектов становятся насущной потребностью экспериментатора.

Начальным этапом любого количественного исследования является, как правило, измерение. В настоящее время при наличии высокого уровня измерительной техники представляется возможным измерять самые разнообразные физические величины — от массы и заряда элементарной частицы до скорости света и размеров Галактики. С помощью различного рода измерительных устройств можно измерить, в частности, физические параметры разнообразных раздражителей, действующих на органы чувств человека (световых, звуковых, механических, температурных и т. д.). Однако не следует забывать о том, что сами по себе органы чувств являются универсальным «измерительным прибором», способным реагировать на малейшие изменения силы сенсорного раздражителя изменением характера активности центральной нервной системы.

В повседневной деятельности человеку редко приходится пользоваться органами чувств для точной количественной оцен-

ки тех или иных параметров внешнего стимула. Как правило, эта оценка носит довольно грубый, приближенный характер. Нам, например, вполне достаточно оценить действующий на нас звуковой сигнал как «слабый», «громкий» или «очень громкий», оценить освещенность письменного стола как низкую, оптимальную или чрезмерно высокую и т. д. Однако в некоторых отраслях человеческой деятельности такого рода оценка не может быть удовлетворительной. Это касается, например, работы светотехников и дизайнеров, для которых необходима точная оценка яркости, освещенности, контраста, насыщенности цветовых оттенков и т. д. Измерение (оценка) интенсивности звуковых сигналов крайне необходимо для акустиков, радиооператоров и т. п., вкусовых и обонятельных раздражителей — для дегустаторов в различных областях пищевой и парфюмерной промышленности и т. д. Не лучше ли во всех этих случаях полагаться на измерительные приборы, нежели на показания органов чувств? Это было бы возможно, если бы «измерительные шкалы», заложенные в наших органах чувств, совпадали с таковыми в измерительных устройствах. Однако чаще всего это не так. Проиллюстрируем это утверждение следующим опытом. Если предложить группе испытуемых субъективно оценить соотношение освещенностей двух световых пятен (предположим, в 10 и 100 лк), то ни один испытуемый не оценит его как 1 : 10, а чаще всего как 1 : 2. Для звуковых сигналов интенсивностью в 1 и 10 микробар субъективно воспринимаемое отношение будет составлять 1 : 3, а для оценки тяжести (возьмем, например, грузы в 100 и 1000 г) — 1 : 20. Естественно, что оценки разных испытуемых будут несколько отличаться друг от друга, однако данные, усредненные по большой группе испытуемых, дадут именно такие результаты!

В чем же причина столь значительного несоответствия объективно измеряемых физических параметров раздражителя их субъективной оценке? Не свидетельствует ли это о несовершенстве органов чувств? Любой специалист в области сенсорной физиологии опровергнет это предположение. В самом деле, способность органов чувств животных и человека воспринимать адекватные раздражители поистине уникальна. Так, для возбуждения фоторецепторов сетчатки глаза достаточно 1—2 квантов света; слуховые рецепторы (волосковые клетки кортиева органа) способны реагировать на звуковые колебания с амплитудой, равной диаметру атома водорода; обонятельные клетки некоторых насекомых могут возбуждаться при попадании на них одной-единственной молекулы пахучего вещества и т. д. Следовательно, дело вовсе не в ограниченной способности или несовершенстве органов чувств, а в том, что наши анализаторы совершенно особым образом отражают физические параметры действующих на них внешних раздражителей, подчиняются каким-то своим, особым закономерностям.

Более сорока лет посвятил изучению данной проблемы американский психофизик С. Стивенс. Он предположил, что, несмотря на различия «субъективных измерительных шкал» для разных сенсорных систем, должна существовать единая универсальная закономерность, связывающая их друг с другом. В 50—60-х годах Стивенс выступил с утверждением, что независимо от модальности сенсорного стимула субъективная оценка раздражителя представляет собой степенную функцию его физической величины [2, 3]. В наиболее общем виде эта зависимость имеет следующий вид:

$$\psi = k\,(\varphi - \varphi_0)^{b},$$

где ψ — субъективная оценка стимула, φ — сила раздражителя (в физических единицах), φ_0 — пороговое значение раздражителя, k — константа и b — экспонента. Различия субъективных шкал для разных органов чувств Стивенс объяснил тем, что для разных сенсорных модальностей экспонента b соответствует разным значениям. Было обнаружено, что в большинстве случаев величина показателя степени меньше единицы:

Яркость светового пятна диаметром 5 град.	0,33
Яркость точечного источника света	0,5
Громкость звука (1000 Гц) при стимуляции	
монауральной	0,55
бинауральной	0,6
Запах кофе	0,55
Запах гептана	0,6
Вибрация 250 Гц (воздействие на кожу пальца)	0,6
Вибрация 60 Гц (воздействие на кожу пальца)	0,95
Вкус сахарина	0,8

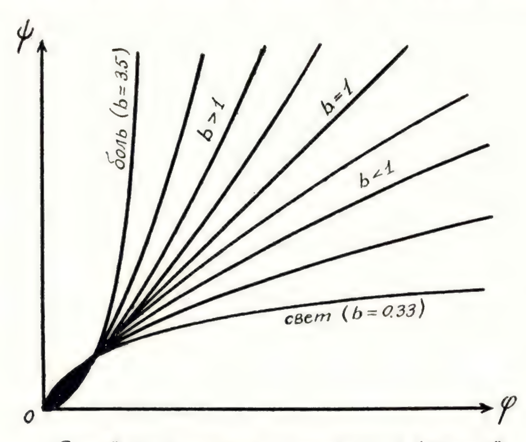
Однако для ряда сенсорных модальностей величина экспоненты функции Стивенса больше единицы:

Температура (тепловое воздействие)	1,6
Давление на кожу	1,1
Вкус поваренной соли	1,3
Вкус сахарозы	1,3
Тяжесть поднимаемого груза	1,45
Оценка собственного мышечного усилия	1,7
Болевое ощущение при электрокожном воздействии	3,5

Кроме того, обнаружено, что для ряда модальностей величина экспоненты степенной функции близка к единице. Это касается субъективной оценки пространственных (размер изображения) и временных (длительность стимула) параметров сенсорного раздражителя, а также оценки холодового воздействия.

Попытаемся проанализировать изложенные факты. Если изобразить зависимость между субъективной оценкой стимула и его «реальной» физической величиной в линейных координатах, то получим семейство различных по своей форме степенных функций (рисунок). Если предположить, что величина субъек-

тивной оценки пропорциональна величине ощущения, вызываемого данным раздражителем, то для тех модальностей, где $b<1$, прирост ощущения будет гораздо меньшим по сравнению с приростом силы раздражителя, а при $b>1$ — наоборот. Интересно отметить, что на противоположных «полюсах» полученного нами семейства функций находятся оценка яркости ($b=0{,}33$) и оценка болевого ощущения ($b=3{,}5$). Имеет ли это определенный физиологический смысл? Несомненно. Вспомним о том, в каком диапазоне яркостей светового стимула (или освещенностей) способен работать зрительный анализатор. Если сравнить освещенность окружающих предметов в темную безлунную ночь (тысячные доли люкса) и в яркий солнечный день



Семейство различных степенных функций

(сотни тысяч люкс), то мы увидим, что диапазон зрительного восприятия (в естественных условиях работы зрительной системы) составляет 8—9 логарифмических единиц. По-видимому, для того чтобы обеспечить надежную работу зрительной системы в столь большом диапазоне силовых характеристик сигнала, необходим наиболее «экономичный» режим. Помимо исключительной способности зрительного анализатора адаптироваться к различным уровням освещенности, это достигается и чрезвычайно малым приростом нервной активности (а следовательно, и величины ощущения) в ответ на возрастание силы светового воздействия. Вероятно, именно в этом состоит физиологический смысл малой величины экспоненты функции Стивенса для восприятия яркости.

Болевое ощущение представляет собой пример прямо противоположный. Сама по себе боль, если даже она незначительно превышает пороговый уровень, должна сигнализировать о патологических изменениях в организме, о воздействии каких-либо неблагоприятных для организма факторов. Восприятие боли в широком диапазоне интенсивности раздражителя биологиче-

ски бессмысленно — напротив, если действие вредоносных факторов, вызывающих боль, лишь незначительно увеличивается, это приводит к крайне резкому возрастанию болевого ощущения, что вынуждает организм к мобилизации защитных сил для устранения патологического воздействия. Эти соображения хорошо согласуются с характером функции субъективной оценки болевого ощущения при экспоненте, равной 3,5.

Таким образом, величина экспоненты степенной функции Стивенса для различных сенсорных систем должна в определенной мере соответствовать ширине динамического диапазона системы в естественных условиях ее функционирования.

Что касается раздражителей, которые оцениваются по закону Стивенса с экспонентой, равной единице, вполне понятно, что в этом случае при субъективном восприятии сигнала отсутствуют нелинейные искажения и величина оценки прямо пропорциональна силе раздражителя. Это обусловливает наиболее адекватное (без искажений) восприятие пространственных и временных характеристик окружающего мира. Что же касается холодового воздействия, при котором величина экспоненты степенной функции также близка к 1, то этот феномен трудно объяснить биологической целесообразностью. Казалось бы, влияние низких температур на организм оказывает не менее вредоносное воздействие, чем, скажем, перегревание. Можно предположить, что центральная нервная система должна одинаковым (или, по крайней мере, аналогичным) образом реагировать на любые отклонения от температурного оптимума как в ту, так и в другую сторону. Однако, как явствует из работ Стивенса [4], субъективные шкалы оценки теплового и холодового воздействия значительно отличаются друг от друга. Причины этого явления следует искать на нейрофизиологическом уровне.

Вопрос о сущности субъективных (психологических) измерений неизбежно сталкивается с проблемой адекватности субъективного отражения окружающего нас внешнего мира. Можем ли мы говорить, исходя из изложенных фактов, об искажении физических характеристик сенсорного стимула в субъективном восприятии, о неадекватном восприятии реальности? Вероятно, нет. Изоморфное отражение окружающего мира, по-видимому, не обязательно предусматривает полное тождество физических и психических величин. Адекватность восприятия, по нашему мнению, должна расцениваться как способность организма наиболее полно воспринимать и перерабатывать поступающую информацию, что и достигается в значительной мере особым характером организации «измерительных шкал» сенсорного восприятия.

Несомненно, что особенности организации психологических шкал базируются на нейрофизиологических механизмах функционирования сенсорных систем. В этой связи представляет интерес тот факт, что «искажение» пространства физических величин, являющихся характеристиками сенсорного раздражителя,

имеет место уже на рецепторном уровне. Известно, что в большинстве рецепторов происходит «логарифмирование» сигнала, то есть физическая шкала действующего на организм раздражителя «сжимается» в логарифмической прогрессии. По мнению Раштона [5], логарифмический код используется различными сенсорными системами ввиду его особых преимуществ. По-видимому, при помощи логарифмического кода сенсорная система обеспечивает максимум информации при любом уровне интенсивности и оптимальное соотношение «сигнал/шум». Известны и психологические корреляты логарифмического преобразования сигнала в нервной системе. Это, в частности, весьма популярный в физиологии и психологии «основной психофизический закон» Вебера — Фехнера, который гласит, что «величина ощущения пропорциональна логарифму силы раздражения». По поводу этого закона следует сказать несколько слов. Известно, что Фехнер сформулировал «основной психофизический закон» исходя из опытов по различению испытуемыми близких между собой сигналов (дифференциальная чувствительность). Вполне возможно, что для такой относительно несложной психологической операции, как различение сигналов, логарифмический код, имеющий место на самых нижних уровнях сенсорной системы, используется в «чистом виде» (без каких-либо дополнительных преобразований). Другое дело — оценка стимула, которая является более сложным психологическим процессом, включающим в себя «ранжирование» стимулов, отнесение их к той или иной категории величин, а в ряде случаев — и соотнесение субъективно воспринимаемых величин со значениями численного ряда, понятие о котором формируется на основании жизненного опыта субъекта. Поэтому не удивительно, что закономерности оценки сигнала описываются принципиально иными математическими функциями, нежели закономерности, лежащие в основе различения стимулов. По-видимому, на уровне субъективной оценки стимула происходит дополнительная трансформация «первичной» логарифмической шкалы, хотя механизм такого преобразования до сих пор не вполне понятен. На основании вышеизложенных данных можно предположить, что такое преобразование делает психофизические (субъективные) шкалы более гибкими, лабильными, что позволяет извлекать максимум информации о тех или иных биологически значимых параметрах сенсорного раздражителя. В том случае, когда это преобразование является неполным, зависимость субъективной оценки стимула от его физических характеристик приобретает характер функции, промежуточной между логарифмической и экспоненциальной формами зависимости [1, 6].

Представляет интерес тот факт, что некоторые параметры сенсорного сигнала (такие как пространственные и временные характеристики) не претерпевают логарифмического преобразования на уровне рецепторов и, следовательно, должны воспри-

ниматься «без искажения». По-видимому, никаких существенных преобразований в этом случае не происходит и на уровне субъективной оценки. Это подтверждается тем фактом, что оценка пространственных и временных параметров сигнала осуществляется по степенному закону с экспонентой, равной единице (как известно, такую функцию можно интерпретировать и как линейную).

Таким образом, можно предположить существование двух типов психофизических шкал: 1) шкалы с линейным преобразованием и 2) шкалы с нелинейным преобразованием сигнала. В связи с этим небезынтересно отметить, что существование таких шкал предполагалось некоторыми учеными задолго до существования психофизики как отдельной науки. Так, один из крупных мыслителей Нового времени Джон Локк в своей работе «О качествах вещей» подразделил все качества (свойства) предметов окружающего мира на первичные (форма, размер, время, место, удаленность и протяженность) и вторичные (свет, цвет, звук, вкус и запах). По Локку, первичные качества воспринимаются органами чувств без искажений, восприятие же вторичных качеств в значительной мере зависит от устройства органов чувств. Справедливость такого утверждения вполне доказывается степенным законом Стивенса и вытекающими из него выводами.

Известно, что в свое время Стивенс отстаивал универсальность сформулированного им степенного закона, возводя его в ранг «основного психофизического закона» в качестве альтернативы логарифмической функции Фехнера. Однако борьба между сторонниками закона Фехнера и закона Стивенса, которая продолжается и поныне, на наш взгляд, лишена достаточно серьезных оснований. Как отмечалось выше, эти законы описывают разные стороны сенсорного восприятия (различение и оценку сигналов), поэтому вряд ли могут претендовать на универсальность. Кроме того, работами нашей лаборатории [6, 7] показана значительная вариабельность субъективных шкал оценки сенсорного стимула, которые могут подчиняться и логарифмической, и экспоненциальной зависимости или имеют вид функций, промежуточных между ними. Обращает на себя внимание значительная изменчивость психофизических шкал в зависимости от условий эксперимента (порядок предъявления сигналов, перестройка стимульного ряда, выбор метода психофизического шкалирования и т. д.). Эти данные свидетельствуют о том, что степенной закон Стивенса не исчерпывает всевозможных форм взаимосвязи между параметрами сенсорного стимула и характером субъективного восприятия данного раздражителя. Очевидно, субъективные шкалы не являются жестко запрограммированными и зависят от множества факторов сенсорного и несенсорного порядка (см. [6]). Другими словами, если рассматривать любую сенсорную систему как измерительный при-

бор, то это будет прибор с лабильной, изменчивой, перестраивающейся (или, лучше сказать, самонастраивающейся) шкалой, характер которой определяется не только нейрофизиологическими механизмами, но и психологическим процессами высшего порядка.

Суммируя все сказанное, можно отметить, что проблема субъективных измерений в психофизике еще далека от своего окончательного разрешения. Не решен до конца вопрос о механизмах изменчивости психофизических шкал, о роли сенсорных и несенсорных факторов в этой изменчивости, о причинах устойчивости индивидуальных шкал субъективной оценки и т. д. В то же время несомненно, что данная проблема имеет огромное теоретическое значение (в плане разработки общей теории сенсорного восприятия), а также непосредственный практический выход: оптимизация условий труда операторов, связанных с восприятием и оценкой разнообразных сенсорных раздражителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977.
2. **Stevens S. S.** On the psychophysical law.— Psychol. Rev., 1957, v. 64, N 1, p. 153.
3. **Stevens S. S.** To honour Fechner and repeal his law.— Science, 1961, v. 133, p. 80.
4. **Stevens J. C., Stevens S. S.** Warmth and cold: dynamics of sensory intensity.— J. exp. Psychol., 1960, v. 60, N3, p. 183.
5. **Раштон У.** Периферическое кодирование в нервной системе.— В кн.: Теория связи в сенсорных системах. М., 1964, с. 53.
6. **Лупандин В. И.** Исследование психофизической функции субъективной оценки яркости. Канд. дис. Л., 1981.
7. **Коновалова Н. Ф.** О вариабельности шкал субъективной оценки яркости.— В наст. сб., с. 64.

УДК 612.821.8

Л. А. ТЕРЕШИНА

ЗАВИСИМОСТЬ СУБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ СЕНСОРНОГО СТИМУЛА ОТ ПЛОТНОСТИ СТИМУЛЬНОГО РЯДА

Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на характер субъективной оценки сенсорного стимула, является плотность стимульного ряда в исследуемом диапазоне [1—4]. Этот факт представляет несомненный интерес не только в теоретическом, но и в практическом плане в смысле изучения оптимальных условий работы анализаторов по оценке сенсорного сигнала. В то же время литературные данные по этому вопросу чрезвычайно скудны и не позволяют в полной мере судить о характере зависимости субъективной оценки раздражителя от плотности предъявляемого стимульного ряда. В нашей работе исследовалось влияние плотности предъявляемых стимулов на субъективную оценку стимулов четырех различных модальностей: яркости, громкости тонального звука, вкусового ощущения и веса поднимаемого груза.

Методика. Задачей испытуемых в опытах по субъективному шкалированию являлась количественная оценка стимулов, предъявляемых в порядке возрастания и убывания интенсивности. Использовался метод произвольного шкалирования, при котором испытуемому задавалось только значение первоначально предъявляемого стимула; все последующие раздражители он должен был оценивать самостоятельно любыми целыми или дробными положительными числами, отличными от нуля. Точкой отсчета (эталоном) в серии возрастающей интенсивности служила величина минимального стимула, которой приписывалось значение в 1 балл; в серии убывающей интенсивности эталоном являлся максимальный стимул, значение которого задавалось экспериментатором равным 100 баллам. Субъективные оценки суммировались по всем испытуемым по средним геометрическим значениям всех повторностей; данные по возрастающей и убывающей серии усреднялись методом баланса регрессии [5]; кривые психофизического шкалирования строились в двойных логарифмических координатах. Методом наименьших квадратов с линейным уравнением регрессии определялись величина показателя степени функции Стивенса и значение ошибки регрессии. Всего было проведено 200 опытов на 50 испытуемых.

Шкалирование яркости. В качестве раздражителя использовались световые пятна диаметром 3 угл. град., проецируемые

на экране на расстоянии 1,5 м от испытуемого с помощью диапроектора. Освещенность пятен менялась при помощи градуированных нейтральных светофильтров в диапазоне 3,6 лог. ед. (от 0,05 до 200 лк). Время экспозиции стимулов и интервалы между предъявлениями составляли 5 сек. Было проведено 3 серии опытов, в которых перепады яркости между последовательно предъявляемыми стимулами соответствовали 0,3; 0,6 и 1,2 лог. ед.

Шкалирование громкости. В качестве стимулятора использовался звукогенератор ЗГ-10 с головными телефонами. Интенсивность тонального звука с частотой 100 Гц менялась в диапазоне 4 лог. ед. (от 5 до 85 дБ над уровнем абсолютного порога). Время предъявления стимулов и интервалы между ними составляли 5 сек. Проведено 3 серии опытов, в которых шаг между последовательно предъявляемыми раздражителями равнялся соответственно 5, 10 и 20 дБ (0,25; 0,5 и 1,0 лог. ед.).

Шкалирование вкусового ощущения. Использовался набор растворов лимонной кислоты различной концентрации, градуированной в логарифмической шкале в диапазоне 2,4 лог. ед. (от 0,01 до 2,5 М). Количество тестируемого раствора, наносимого на язык испытуемого, соответствовало 0,1 мл. Интервалы между нанесениями раствора составляли 25—30 сек. Шаг изменения интенсивности раздражителя в 3 различных сериях составлял соответственно 0,2; 0,4 и 0,8 лог. ед.

Шкалирование веса. Испытуемые оценивали вес груза, помещенного на ладонную поверхность кисти. Использовались грузы весом от 17 до 1077 г, что соответствовало диапазону в 1,8 лог. ед. Было проведено 3 серии опытов, в которых перепады веса между последовательно предъявляемыми грузами составляли 0,15; 0,30 и 0,60 лог. ед.

Результаты опытов. На рис. 1 представлены кривые зависимости субъективного шкалирования яркости (А), громкости (Б), вкусового ощущения (В) и тяжести (Г) от плотности стимульного ряда в исследуемом диапазоне. Можно видеть, что результирующие кривые во всех случаях не совпадают друг с другом. Обращает на себя внимание тот факт, что с повышением плотности стимульного ряда (количества стимулов в фиксированном диапазоне) возрастает крутизна наклона психофизической функции относительно оси абсцисс (а следовательно, суммарный показатель степени функции Стивенса). Более убедительно это иллюстрируется численными данными, приведенными в таблице, которая отражает значения величины экспоненты и ошибки регрессии степенной функции при варьировании плотности предъявляемого стимульного ряда.

В таблице величина $b \pm t_n \cdot \sigma_b$ соответствует величине показателя степени функции Стивенса с доверительным интервалом для вероятности 95%, σ — ошибка регрессии степенной функции.

Можно видеть, что с увеличением плотности стимульного

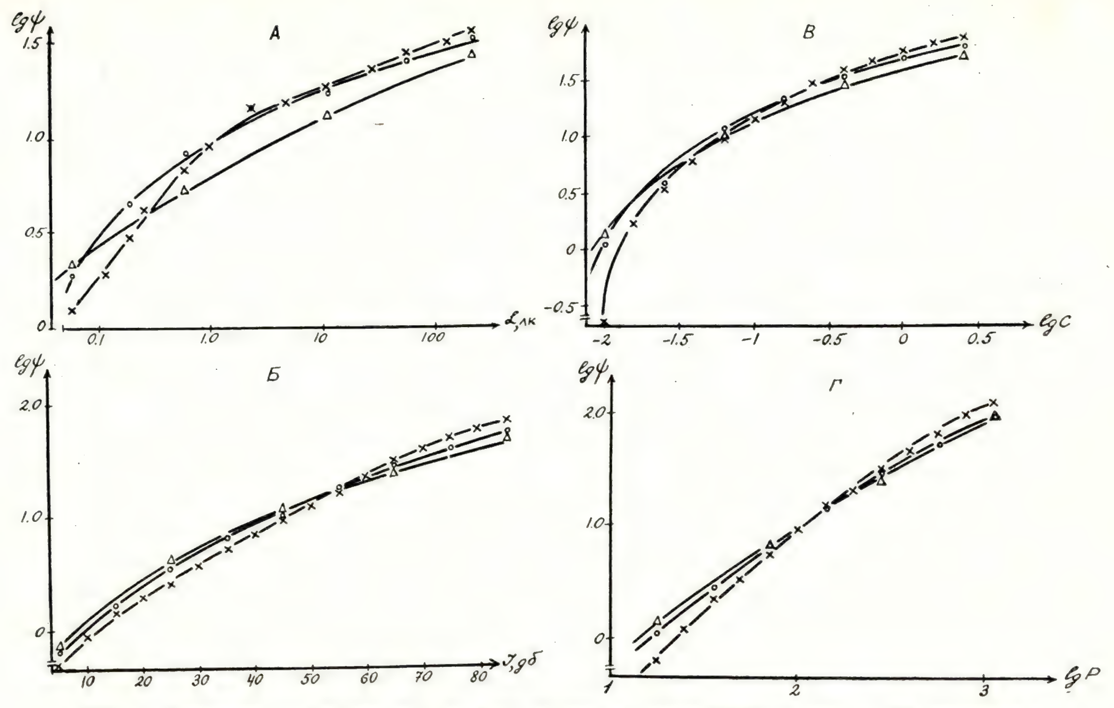


Рис. 1. Зависимость субъективного шкалирования сенсорного стимула от плотности стимульного ряда в исследуемом диапазоне. *А* — оценка яркости, *Б* — оценка громкости, *В* — оценка вкусового ощущения, *Г* — оценка тяжести. По оси абсцисс — логарифм интенсивности стимула, по оси ординат — логарифм субъективной оценки

ряда (при уменьшении шага изменения интенсивности между соседними стимулами) величина экспоненты достоверно повышается. Для определения относительной плотности стимульного ряда (d) мы использовали соотношение $\frac{n-1}{D}$, где n — число

Зависимость параметров функции психофизического шкалирования от плотности стимульного ряда

Модальность	Диапазон, лог. ед., D	Число стимулов в диапазоне, n	Шаг изменения интенсивности, $\varphi_m - \varphi_n$	Показатель степени, $b \pm t_n \cdot \sigma_b$	Ошибка регрессии, σ
Яркость	3,60	4	1,20	0,279±0,026	0,071
		7	0,60	0,322±0,023	0,096
		13	0,30	0,383±0,017	0,098
Громкость	4,00	5	1,00	0,446±0,012	0,167
		9	0,50	0,469±0,006	0,106
		17	0,25	0,514±0,002	0,065
Вкус	2,40	4	0,80	0,642±0,056	0,224
		7	0,40	0,699±0,030	0,184
		13	0,20	0,781±0,018	0,161
Тяжесть	1,80	4	0,60	1,017±0,015	0,050
		7	0,30	1,068±0,011	0,057
		13	0,15	1,259±0,009	0,065

стимулов в предъявляемом диапазоне, D — величина исследуемого диапазона в лог. ед. Другими словами, величина d отражает число межстимульных интервалов на 1 лог. ед. изменения интенсивности.

Рис. 2 отражает кривые зависимости величины экспоненты от плотности стимульного ряда: $b=f(d)$. Нетрудно заметить, что для всех исследованных модальностей эти кривые с хорошим приближением могут быть описаны линейными функциями: $b=kd$, причем величина k, характеризующая угол наклона кривых относительно оси абсцисс, для разных модальностей неодинакова. Она минимальна для шкалирования громкости (0,023) и максимальна для оценки тяжести (0,049). Значения k для шкалирования яркости (0,041) и вкусового ощущения (0,037)

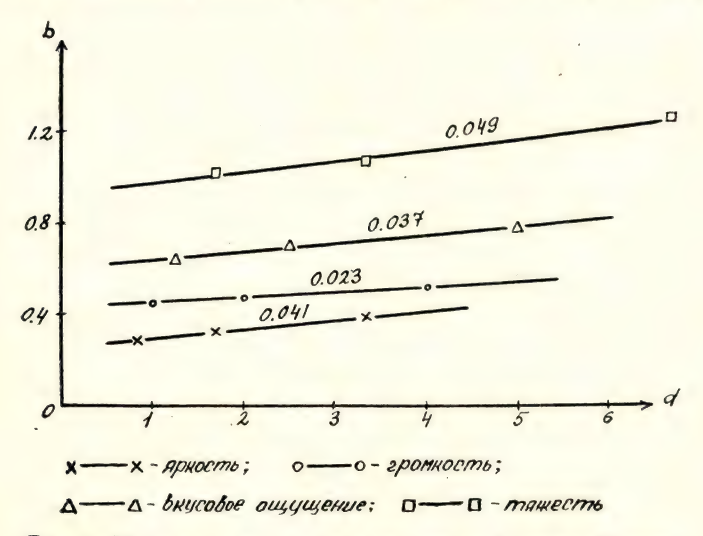


Рис. 2. Зависимость величины экспоненты функции Стивенса от плотности стимульного ряда. По оси абсцисс — коэффициент плотности, по оси ординат — величина показателя степени

занимают промежуточное положение. Это свидетельствует о том, что изменение плотности стимульного ряда оказывает неодинаковое влияние на субъективную оценку стимулов различных сенсорных модальностей.

Обсуждение результатов. Субъективное шкалирование ряда последовательно предъявляемых стимулов состоит не только в количественной оценке интенсивности каждого отдельного раздражителя, но и в установлении численных отношений внутри всего стимульного ряда. Вообще говоря, количественная оценка одиночного сигнала (безотносительно к какому-либо эталону сравнения) не имеет смысла. В таком случае данные нашей работы свидетельствуют о том, что плотность стимульного ряда оказывает влияние не на оценку одиночных раздражителей, а на субъективно воспринимаемую величину различия между предыдущим и последующим сигналами. Как утверждает Уорд [6], при субъективном шкалировании испытуемый не всегда

опирается на первоначально заданное значение стандартного стимула — стандарт может последовательно перемещаться по шкале оценок, и испытуемые часто оценивают предъявляемые сигналы по отношению друг к другу. В том случае, когда испытуемый замечает, что стимулы предъявляются последовательно (в порядке возрастания или убывания интенсивности), субъективная оценка каждого предыдущего сигнала является, несомненно, более надежным «якорем» для суждения о величине последующего, чем значение стандарта, первоначально заданное экспериментатором. Основываясь на этой точке зрения, мы можем предположить, исходя из результатов нашей работы, что взаимная оценка сигналов существенно зависит от величины перепада интенсивности между последовательно предъявляемыми стимулами. Другими словами, изменение субъективно воспринимаемой разницы между раздражителями нелинейно следует за изменением физической разницы (перепада интенсивности). Несмотря на то, что диапазон интенсивности стимулов для каждой отдельной модальности был фиксирован, он воспринимался испытуемыми по-разному в зависимости от числа предъявляемых стимулов (а следовательно, от плотности предъявляемого стимульного ряда) в данном диапазоне. Этот факт весьма любопытен и не может быть объяснен с точки зрения привычных математических представлений. Как справедливо отмечает Трейсман [7], «арифметика ощущений» коренным образом отличается от метрики привычных для нас физических величин. В самом деле, данные нашей работы показывают, что дробление фиксированного диапазона интенсивности на все более мелкие градации приводит к прогрессирующему увеличению диапазона субъективных оценок. Проще говоря, «арифметика ощущений» такова, что $1/2+1/2>1$, $1/4+1/4>1/2$ и т. д.

Объяснение полученных закономерностей, несомненно, требует более детального изучения интересующей нас проблемы. Тем не менее, исходя из полученных результатов, мы считаем правомерным уточнить известный закон Стивенса, который гласит, что «величина ощущения пропорциональна силе раздражителя, возведенной в степень». Не затрагивая вопроса о том, что субъективная оценка стимула не тождественна величине ощущения, вызываемого данным стимулом, можно в уравнение, предложенное Стивенсом ($\Psi=k_1\varphi^b$), ввести поправку, учитывающую фактор плотности стимульного ряда в исследуемом диапазоне. В этом случае уравнение примет вид: $\Psi=k_1\varphi^{b(d)}$, где величина экспоненты b в первом приближении является линейной функцией от d. В то же время не следует забывать о том, что коэффициент пропорциональности k в уравнении $b=kd$ неодинаков для стимулов различной модальности и, возможно, является, в свою очередь, сложной функцией от абсолютного значения экспоненты b.

Выводы. 1. В психофизических опытах по субъективному шкалированию яркости, громкости, вкусового ощущения и веса установлено, что величина показателя степени функции Стивенса для стимулов одной и той же модальности существенно зависит от плотности стимульного ряда в исследуемом диапазоне.

2. Показано, что с увеличением плотности стимульного ряда в фиксированном диапазоне интенсивностей величина экспоненты степенной функции достоверно увеличивается.

3. Обнаружена приблизительно линейная связь между величиной показателя степени функции субъективного шкалирования и коэффициентом плотности стимульного ряда, причем коэффициент пропорциональности этой функции для стимулов разной модальности различен.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977, с. 288.

2. **Льюс Р., Галантер Е.** Психофизические шкалы.— В кн.: Психологические измерения. М., 1967, с. 111.

3. **Poulton E. C.** The new psychophysics: six models for magnitude estimation.— Psychol. Bull., 1968, v. 69, N1, p. 1.

4. **Stevens S. S., Galanter E. H.** Ratio scales, category scales for a dozen perceptual continua.— J. exp. Psychol., 1957, v. 54, N6, p. 377.

5. **Stevens S. S., Greenbaum H. B.** Regression effect in psychophysical judgments.— Percept. a. Psychophys., 1966, v. 1, N4, p. 439.

6. **Ward L. M.** Repeated magnitude estimations with a variable standard: sequential effects and other properties.— Percept. a. Psychophys., 1973, v. 13, N2, p. 193.

7. **Treisman M.** What do sensory scales measure? — Quart. J. exp. Psychol., 1964, v. 16, N 4, p. 387.

УДК 612.821.8

В. И. ЛУПАНДИН, А. Н. СЕРГЕЕВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЭКСПОНЕНТЫ ФУНКЦИИ СТИВЕНСА В РАЗЛИЧНЫХ ДИАПАЗОНАХ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕНСОРНОГО СТИМУЛА

В 50—60-е годы известный американский психофизик С. Стивенс [1, 2] установил, что субъективная оценка величины сенсорного раздражителя связана с его физической интенсивностью экспоненциальной зависимостью: $\Psi=k(\varphi-\varphi_0)_{\text{в}}$, где φ — интенсивность раздражителя, φ_0 — пороговое значение стимула, Ψ — величина субъективной оценки, b — экспонента. Полученную закономерность Стивенс трактовал как «основной психофизический закон» — закон количественной связи между ощущением и стимулом, выдвигая его в качестве альтернативы известного закона Вебера—Фехнера, который гласит, что «величина ощущения пропорциональна логарифму силы раздражения». Не вдаваясь в проблему взаимосвязи закона Вебера — Фехнера и функции Стивенса, можно отметить, что степенная зависимость оценки раздражителя от его интенсивности была обнаружена многочисленными исследователями для стимулов различной модальности: для оценки яркости [3, 4], громкости тонального звука [5—9], вкусового ощущения [10, 11], а также для обонятельной [12—16], тактильной [17], температурной [18, 19] и кинестетической чувствительности [20, 21]. По мнению Стивенса [2], величина экспоненты степенной функции отражает особенности субъективного восприятия и для стимулов одной и той же модальности является относительно постоянной. Так, для оценки яркости была определена величина b = 0,33, для громкости — 0,50—0,60, а для болевого ощущения при электрокожном раздражении — 3,5! Однако в 60—70-е годы стали появляться работы, свидетельствующие о том, что экспонента степенной функции даже для стимулов одной модальности не является постоянной, а зависит от ряда побочных факторов (таких как уровень адаптации, пространственные и временные параметры стимула, порядок предъявления раздражителей и т. д. [22—24]). Особый интерес в этом отношении представляют работы, в которых отмечается вариабельность величины показателя степени в различных диапазонах интенсивности раздражителя. Так, ряд авторов отмечает, что величина b существенно возрастает в области околопороговых интенсивностей, что сопровождается значительным отклонением психофизической зависимости от степенной функции [22—25]. Эти данные, во-первых, позволяют усомниться в правомерности

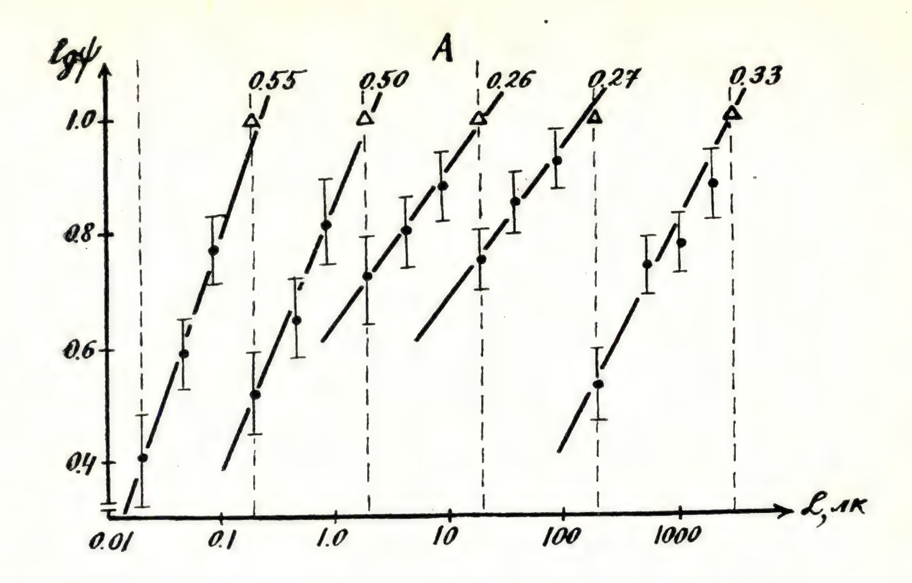
описания психофизической зависимости степенной функцией с $b = \text{const}$ во всем динамическом диапазоне сенсорной системы, во-вторых, дают основания предполагать, что вариации величины b для стимулов одной и той же модальности отражают, по-видимому, особенности сенсорного восприятия на различных участках диапазона интенсивности.

В данной работе исследовался характер изменения параметров степенной функции Стивенса в различных диапазонах интенсивности для стимулов двух модальностей (яркости светового стимула и громкости тонального звука).

Методика. Исследование субъективного шкалирования яркости и громкости проводилось методом сравнения со стандартом. При этом величина раздражителя, соответствующая его максимальному значению в исследуемом диапазоне, служила в качестве стандарта (эталона), которому приписывалось значение (по интенсивности) в 10 баллов. После предъявления стандарта испытуемому в случайном порядке предъявлялся ряд тестовых стимулов, интенсивность которых он должен был количественно оценить по отношению к величине стандарта по 10-балльной шкале. Допускались оценки любыми целыми или дробными положительными числами, отличными от нуля. Данные усреднялись по всем испытуемым по средним геометрическим значениям всех оценок. Кривые субъективной оценки стимулов строились в двойных логарифмических координатах и аппроксимировались линейными функциями с использованием метода наименьших квадратов. По уравнению регрессии вычислялась величина экспоненты степенной функции ($b \pm \sigma_b$), а также ошибка регрессии (σ), характеризующая степень приближения данной функции к степенной зависимости.

Субъективное шкалирование яркости. Опыты проводились в затемненной камере в условиях предварительной 5-минутной темновой адаптации. Стимулы имели вид круглых световых пятен диаметром 3 угл. град., проецируемых на экране (матовое стекло) с внешней стороны камеры. В качестве стимулятора использовался диапроектор с системой градуированных нейтральных светофильтров, позволяющих менять освещенность тестового пятна в пределах 5,25 лог. ед. (от 0,02 до 3 500 лк). Шкалирование проводилось в 5 смежных диапазонах освещенности (соответственно 0,02—0,2; 0,2—2,0; 2—20; 20—200 и 200—3 500 лк). В каждом диапазоне использовался один стандартный стимул (наибольшей яркости) и 3—4 тестовых стимула. Время экспозиции стимулов, а также интервалы между ними соответствовали 5 сек. В данной серии было проведено 75 опытов на 30 испытуемых в возрасте от 18 до 25 лет.

Субъективное шкалирование громкости. В качестве стимулятора использовался звукогенератор ЗГ-10 с головными телефонами. Частота тонального звукового сигнала соответствовала 1 000 Гц, время предъявления стимулов и интервалы между



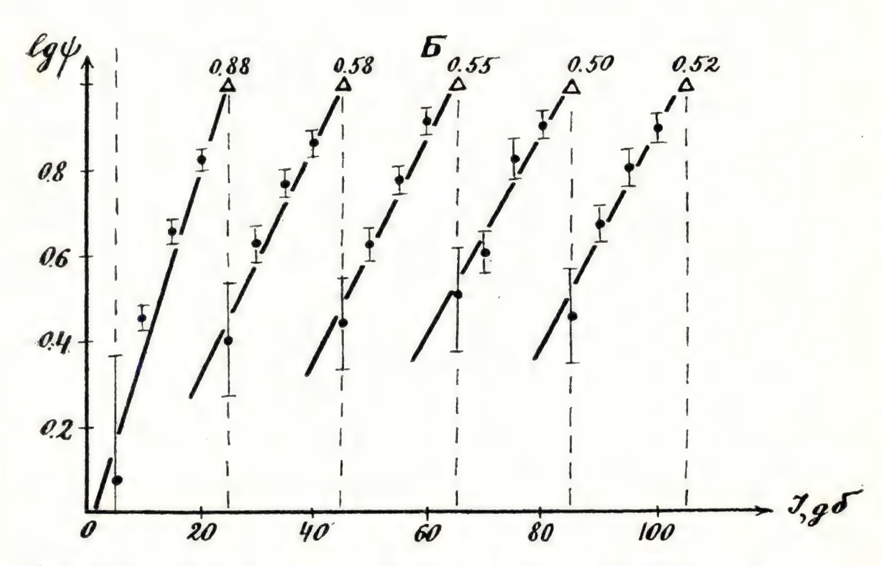


Рис. 1. Кривые субъективной оценки интенсивности сенсорного стимула в различных диапазонах силы раздражителя. *А* — субъективная оценка яркости, *Б* — оценка громкости. По оси абсцисс — логарифм интенсивности, по оси ординат — логарифм субъективной оценки. Пунктирными линиями обозначены границы исследуемых диапазонов. Цифры над кривыми соответствуют величинам показателей степени функции Стивенса

ними составляли 5 сек. Интенсивность звука менялась в диапазоне 5 лог. ед. (от 5 до 105 дБ над уровнем абсолютного порога, усредненного по всем испытуемым). Шкалирование проводилось в 5 смежных поддиапазонах интенсивности (соответственно 5—25, 25—45, 45—65, 65—85 и 85—105 дБ над порогом). В каждом поддиапазоне использовался один стандартный стимул (наибольшей громкости), значение которого по инструкции эксперимента соответствовало 10 баллам, и 4 тестовых стимула. В данной серии было проведено 75 опытов на 22 испытуемых.

Результаты исследований. Результаты опытов по субъективному шкалированию яркости и громкости приведены на рис. 1—3. На рис. 1 представлены кривые субъективной оценки яркости (А) и громкости (Б) от силы соответствующего раздражителя в различных поддиапазонах интенсивности. Обе кривые приведены в двойных логарифмических координатах. Можно видеть, что в обоих случаях кривые субъективной оценки могут быть в первом приближении описаны линейными функциями (следует напомнить, что линейная функция в логарифмических координатах ($\log\psi = a + b \cdot \log\varphi$) представляет собой экспоненциальную зависимость ψ от φ: $\psi = k\varphi^b$, где показатель степени b соответствует тангенсу угла наклона функции относительно оси абсцисс). В то же время нетрудно заметить, что наклон функций (а следовательно, и величина экспоненты) в различных поддиапазонах интенсивности стимула неодинаков. На рис. 1 цифры над каждой кривой соответствуют величине показателя степени психофизической функции в каждом отдельном поддиапазоне. Для обеих исследованных модальностей (зрительной и слуховой) можно отметить одну общую закономерность: величина экспоненты функции всегда значительно выше в области низких (околопороговых) интенсивностей (для оценки яркости — в диапазоне от 0,02 до 0,2 лк, а для громкости — от 5 до 25 дБ над уровнем абсолютного порога). Эти результаты согласуются с данными некоторых исследований [22—25].

Однако в наших опытах обнаружено, что величина показателя степени повышается также (хотя и незначительно) в области высоких значений интенсивности (в диапазоне 200—3 500 лк для оценки яркости и 85—105 дБ для громкости). Более наглядно это иллюстрирует рис. 2, на котором изображены кривые изменения величины экспоненты функции Стивенса в различных поддиапазонах интенсивности стимула. Нуль на оси абсцисс соответствует значениям абсолютного порога чувствительности для обеих исследованных модальностей, а положения точек на кривых — среднему значению интенсивности (в лог. ед.) в каждом из исследованных диапазонов. Обращает на себя внимание тот факт, что характер изменения показателя степени для оценки яркости и громкости неодинаков, что, по-видимому, свидетельствует о некоторых различиях механизмов оценки

сенсорного сигнала в зрительной и слуховой системах. На рис. 3 представлены кривые изменения величины ошибки регрессии в различных диапазонах интенсивности стимула. Нетрудно видеть, что и величина ошибки шкалирования минимальна в области средней силы раздражителя, а в диапазоне низких и высоких температур она повышается.

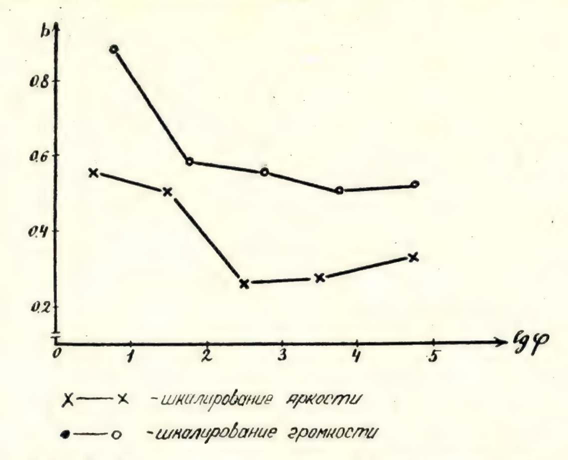


Рис. 2. Зависимость величины показателя степени функции Стивенса от интенсивности сенсорного стимула. По оси абсцисс — логарифм интенсивности, по оси ординат — величина экспоненты

Обсуждение результатов. Полученные нами результаты указывают на то, что психофизические функции субъективной оценки яркости и громкости в различных диапазонах интенсивности стимула могут в первом приближении описываться степенной функцией Стивенса $\psi = k\varphi^b$, где экспонента b, в свою очередь, имеет достаточно сложную зависимость от интенсивности. Показано также, что форма этой зависимости достаточно сложна и неоднозначна для стимулов различной модальности, что, по-видимому, свидетельствует о различиях в механизмах кодирования интенсивности стимула в зрительной и слуховой системах. Мы полагаем, что в основе обнаруженных закономерностей лежат факторы не психологического порядка, связанные с оценкой сигнала и принятием решения, а факторы чисто сенсорного, физиологического плана, которые следует искать на нижних уровнях сенсорной системы. Доказательством этому может служить тот факт, что во всех исследованных диапазонах интенсивности стимула в опытах по субъективному шкалированию соблюдались одни и те же условия: порядок предъявления сигналов во всех случаях был случайным, а следовательно, случайным образом менялся уровень адаптации испытуемого к предъявляемым стимулам; число стимулов в

разных диапазонах, плотность стимульного ряда, размерность шкалы субъективной оценки и другие параметры шкалирования были одинаковыми и поэтому не могли оказывать существенного влияния на характер оценок. Таким образом, все несенсорные факторы в наших исследованиях если и не исключались целиком, то, по крайней мере, не могли обусловливать сколько-нибудь заметных различий в оценке сигналов, предъявляемых в разных поддиапазонах силы сенсорного раздражителя. Поэтому мы считаем, что различия в параметрах функций психофизического шкалирования обусловлены в первую очередь характером кодирования сенсорного сигнала на входе системы (возможно, даже на рецепторном уровне).

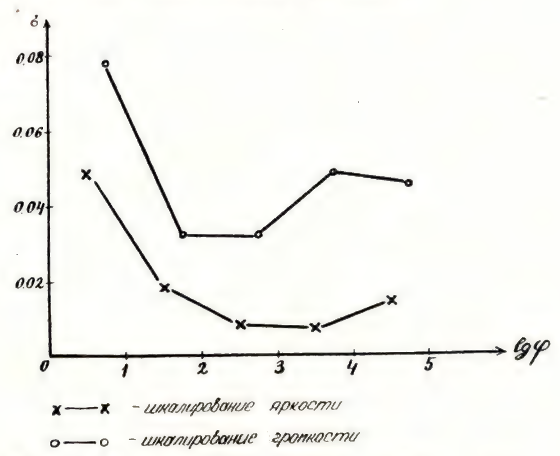


Рис. 3. Зависимость величины ошибки регрессии степенной функции от интенсивности стимула. По оси абсцисс — логарифм интенсивности, по оси ординат — величина ошибки регрессии

Для того чтобы интерпретировать полученные данные с точки зрения механизмов кодирования силовых параметров стимула, необходимо выяснить функциональный (физиологический) смысл величины экспоненты функции Стивенса. Прежде всего рассмотрим, что отражает функция субъективного шкалирования? Вряд ли можно согласиться с тем, что закон Стивенса — это закон взаимосвязи между стимулом и ощущением. Можно ли утверждать, что количественная оценка стимула тождественна величине ощущения, возникающего у субъекта при действии данного раздражителя? По-видимому, дело обстоит сложнее. Вообще говоря, количественная оценка одиночного сенсорного сигнала (безотносительно к какому-либо стандарту, эталону) лишена смысла. Производя операцию субъективного шкалирования, испытуемый не просто трансформирует полученные им субъективные ощущения в количественное выражение, под-

бирая для них соответствующие численные аналоги,— он устанавливает количественные отношения между разными стимулами внутри предъявляемого ему стимульного ряда, производит «ранжирование» стимулов данного ряда или, по терминологии Стивенса, устанавливает соответствие между сенсорным (субъективным) и физическим (объективным) рядом (континуумом). На наш взгляд, работу испытуемого по шкалированию можно сравнить с работой какого-либо измерительного прибора (скажем, люксметра). Известно, что точность показаний любого измерительного прибора зависит от цены деления шкалы. Так, если цена деления люксметра соответствует, предположим, 10 лк, то нам не удастся измерить исследуемый параметр (в данном случае освещенность) с точностью, большей ±5 лк. В то же время уменьшение цены деления до 1 лк (путем переключения прибора на другой режим работы) снижает ошибку в 10 раз.

По аналогии возникает вопрос о том, не зависит ли точность психологических измерений от «цены деления» шкалы субъективной оценки? Известно, например, что способность сенсорной системы различать близкие между собой сигналы (дифференциальная чувствительность) неодинакова в различных диапазонах интенсивности стимула. Несмотря на то, что в свое время Вебер [26] постулировал правило постоянства дифференциальных порогов ($\triangle S/S = \text{const}$), более точные измерения показали, что дифференциальная чувствительность снижается в области низких, а в ряде случаев — и высоких значений силы раздражителя (см. обзор [27]). Мы предполагаем, что изменение величины показателя степени функции субъективной оценки стимула в различных диапазонах интенсивности также отражает вышеуказанные закономерности. В самом деле, если испытуемый оценивает определенный ряд стимулов значениями, скажем, 10, 20, 40 и т. д., а другой ряд — числами 4, 5, 7, 9..., то, по-видимому, во втором случае шкалирование стимульного ряда осуществляется более точно, в более оптимальном режиме (в смысле создания наиболее адекватной шкалы субъективных оценок, наиболее точно отражающей количественные отношения между элементами предъявляемого ряда). В первом же случае оценка является более грубой, более приблизительной: испытуемый может решить, что один стимул больше (или меньше) другого в 2, 3 или 4 раза, но он не может конкретизировать степень этого различия настолько, чтобы установить отношения, равные, скажем, 1:2,1; 1:2,9 и т. д. Таким образом, чем более плавно, более мелкими градациями осуществляется оценка стимульного ряда, тем более информативным, по-видимому, является такой ряд для данного субъекта.

В нашей работе показано, что крутизна функции субъективного шкалирования (а следовательно, и величина показателя степени психофизической функции) в различных диапазонах

интенсивности сенсорного стимула неодинакова. Обращает на себя внимание тот факт, что величина экспоненты резко возрастает в области низких значений раздражителя. Очевидно, в этой области оценка стимулов осуществляется наиболее грубо, далеко отстоящими друг от друга градациями, что вполне объяснимо с точки зрения некоторых психологических и нейрофизиологических данных. В самом деле, в околопороговой области значительно возрастает уровень флуктуаций сенсорного сигнала, уменьшается величина отношения «сигнал/шум», а следовательно, ухудшается дифференциальная чувствительность системы, что не может не отразиться на характере субъективной оценки сенсорного стимула. То, что характер изменения экспоненты в области низких интенсивностей для зрения и слуха неодинаков, указывает, по-видимому, на различия в механизмах кодирования слабых сигналов в зрительной и слуховой системах. Так, в зрительной системе это может отражать изменения, связанные с переходом от фотопического зрения к скотопическому, в слуховой — уменьшение числа активированных рецепторов и т. д. В то же время увеличение экспоненты в области высоких интенсивностей для яркости и громкости может свидетельствовать о вовлечении тормозных связей, лимитирующих передачу сигнала от рецепторов в высшие отделы мозга.

Другим параметром психофизической функции субъективной оценки стимула является величина ошибки регрессии, которая отражает, во-первых, степень приближения кривой шкалирования к функции Стивенса, во-вторых, зависит от статистического разброса данных, то есть является показателем точности субъективной оценки. Как показывает рис. 3, величина ошибки регрессии как для оценки яркости, так и для оценки громкости имеет минимум в области средних значений интенсивности раздражителя и повышается по краям исследуемого диапазона. Несмотря на то, что корреляция между b и σ невысока (ср. кривые на рис. 2 и 3), одинаковая тенденция для того и другого параметра шкалирования выявляется достаточно хорошо. Уменьшение ошибки регрессии в области средних значений силы раздражителя, очевидно, свидетельствует о том, что оценка сигнала в этой области осуществляется наиболее точно, по сравнению с оценкой сигналов низкой и высокой интенсивности.

Таким образом, суммируя все сказанное, можно сделать вывод о том, что в диапазоне средних интенсивностей оценка яркости светового стимула и громкости тонального звука осуществляется в наиболее оптимальном режиме — более «градуально» и более точно, по сравнению с околопороговой областью и областью высоких интенсивностей. Это, по-видимому, в какой-то степени отражает тот факт, что в реальных условиях зрительная и слуховая системы чаще всего имеют дело с восприятием сенсорных сигналов именно в этом диапазоне, который является для них наиболее информативным.

Выводы. 1. В опытах по субъективному шкалированию яркости светового стимула и громкости тонального звука в различных диапазонах интенсивности показано, что кривые субъективной оценки могут быть в первом приближении описаны степенной функцией Стивенса с переменным показателем степени.

2. Установлено, что величина экспоненты функции Стивенса для восприятия яркости и громкости повышается в области низких и в меньшей степени — в области высоких значений интенсивности.

3. Показано, что величина ошибки регрессии степенной функции субъективного шкалирования яркости и громкости обнаруживает аналогичную тенденцию: она минимальна в области средних значений силы раздражителя и повышается по краям исследуемого диапазона.

4. Предполагается, что в области средних интенсивностей светового и звукового раздражителя имеет место наиболее точная, наиболее адекватная оценка сенсорного стимула, то есть этот диапазон является наиболее информативным для сенсорной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Stevens S. S.** On the psychophysical law.— Psychol. Rev., 1957, v. 64, N1, p. 153.
2. **Stevens S. S.** To honour Fechner and repeal his law.— Science, 1961, v. 133, N3446, p. 80.
3. **Hanes R. M.** A scale of subjective brightness.— J. exp. Psychol., 1949, v. 39, N4, p. 438.
4. **Ekman G., Eisler H., Künnapas T.** Brightness scale for monochromatic light.— Scand. J. Psychol., 1960, v. 1, N1, p. 41.
5. **Churcher B. G.** A loudness scale for industrial noise measurements.— J. Acoust. Soc. Amer., 1935, v. 6, N4, p. 216.
6. **Stevens S. S.** A scale for the measurement of a psychological magnitude: loudness.— Psychol. Rev., 1936, v. 43, N5, p. 405.
7. **Stevens S. S.** The measurement of loudness.— J. Acoust. Soc. Amer., 1955, v. 27, N 5, p. 815.
8. **Stevens S. S.** The direct estimation of sensory magnitudes — loudness.— Amer. J. Psychol., 1956, v. 69, N 1, p. 1.
9. **Stevens S. S.** Calculating loudness.— The Noise Control, 1957, v. 3, p. 11.
10. **Mc Burney D. H.** Magnitude estimation of the taste of sodium chloride after adaptatoin to sodium chloride.— J. exp. Psychol., 1966, v. 72, N 6, p. 869.
11. **Stevens S. S.** Sensory scales of taste intensity.— Percept. a. Psychophys., 1969, v. 6, N4, p. 302.
12. **Reese T. S., Stevens S. S.** Subjective intensity of coffee odor.— J. Psychol., 1960, v. 73, p. 424.
13. **Engen Tr.** Direct scaling of odor intensity.— Rep. Psychol. Lab. Stockholm, 1961, N 106.
14. **Engen Tr., Lindström C. O.** Psychophysical scales of the odor intensity of amylacetate.— Rep. Psychol. Lab. Stockholm, 1962, N 114.
15. **Eisler H.** How prothetic is the continuum of smell? — Scand. J. Psychol., 1963, v. 4, N1, p. 29.

16. **Stevens S. S.** Tactile vibration: change of exponent with frequency.— Percept. a. Psychophys., 1968, v. 3, N3, p. 223.
17. **Harper R. S.** On the sensory evaluation of compliant materials.— Sensation and Measurement (H. R. Moskowitz et al., eds.), 1974, p. 91.
18. **Gagge A. P., Stevens J. C.** Thermal sensitivity and comfort.— In: The Skin Senses (D. R. Kenshalo, ed.). Springfield, 1968, p. 345.
19. **Marks L. E., Stevens J. C.** Perceived cold and skin temperature as functions of stimulation level and duration.— Amer. J. Psychol., 1972, v. 85, N3, p. 407.
20. **Harper R. S., Stevens S. S.** A psychological scale of weight and a formula for its derivation.— Amer. J. Psychol., 1948, v. 61, N3, p. 343.
21. **Harper R. S., Stevens S. S.** Subjective hardness of compliant materials.— Quart. J. exp. Psychol., 1964, v. 16, p. 204.
22. **Льюс Р., Галантер Е.** Психофизические шкалы.— В кн.: Психологические измерения. М., 1967, с. 111.
23. **Пьерон А.** Психофизика.— В кн.: Экспериментальная психология. Под ред. П. Фресс и Ж. Пиаже. М., 1966, с. 241.
24. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977, с. 288.
25. **Barlow R. B., Verrillo R. T.** Brightness sensation in a ganzfeld.— Vision Res., 1976, v. 16, Nov., p. 1291.
26. **Weber E. H.** Der Tastsinn und das Gemeingefühl.— In: Handwörterbuch der Physiologie. Braunshweig, Viewig, 1846, Bd. 3, S. 481.
27. **Holway A. H., Pratt C. C.** The Weber-ratio for intensitive discrimination.— Psychol. Rev., 1936, v. 43, N 4, p. 322.

УДК 612.821.8

И. А. ДАНИЛЕНКО

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ВЕЛИЧИНЫ ЭКСПОНЕНТЫ СТЕПЕННОГО ЗАКОНА СТИВЕНСА

Предложенная Стивенсом степенная форма основного психофизического закона как альтернативного фехнеровскому логарифмическому закону, а также введение так называемых прямых методов измерения величины ощущения породили большое количество исследований самого различного плана, касающихся как проверки валидности, так и определения границ применимости этого закона. Существование его в настоящее время в принципе не вызывает сомнений почти ни у кого. Рядом авторов делались попытки как-то пересмотреть, модернизировать стивенсовский закон [1, 2] или вывести более общий, который каким-то образом «примирил» бы законы Фехнера и Стивенса [3]. Однако эти авторы или берут за основу стивенсовский закон (в первом случае) или, по крайней мере, не отвергают полностью, признавая ограниченность его действия (во втором случае).

Степенная функция достаточно хорошо аппроксимирует данные, полученные при помощи прямых методов шкалирования сенсорных величин. Тем не менее необходимо отметить, что получаемые при этом шкалы обладают довольно высокой вариабельностью. Причины такой вариабельности могут быть троякого рода: во-первых, связанные со структурными и функциональными особенностями организации сенсорных систем, воспринимающих те или иные сигналы. Так, еще Стивенсом [4] показано, что каждая модальность ощущения характеризуется определенной величиной показателя степени, параметра, определяющего форму шкалы, а следовательно, характер отображения континуума физических сигналов в сенсорное пространство.

Во-вторых, могут быть причины, связанные с индивидуальными особенностями функционирования нервной системы каждого отдельно взятого субъекта. Причем сюда следует отнести не только различия в динамике протекания нервных процессов того или иного субъекта, но и все психологические особенности личности, включая опыт предшествующей оценочной деятельности. Примерами исследований, касающихся этой стороны проблемы, могут служить работы Джонса и Маркуса [5], Ратановой [6].

Однако наиболее важными и перспективными, думается,

следует считать работы, связанные с изучением влияния разнообразных факторов экспериментальной процедуры на процесс восприятия и, в частности, на величину показателя степени закона Стивенса при использовании прямых методов оценки величины ощущения. Изменяя или исключая влияние тех или иных факторов экспериментальной ситуации и проследив динамику соответствующих реакций испытуемого, можно в конечном счете подойти к познанию самого механизма формирования оценки и построения субъективных шкал ощущения, а также внутренних причин, приводящих к их изменению. Феноменология по данному вопросу уже достаточно обширна. Следует упомянуть обзорные работы Забродина, Лебедева [3], Поултона [7]. Из других работ — исследования М. и Р. Тетсунян [1], касающиеся эффекта диапазона; Стивенса [8], Уарда и Локхида [9], Кросса [10] — о влиянии последовательности предъявления стимулов. Этот список можно продолжить. Тем не менее многие аспекты данной проблемы остаются невыясненными или недостаточно хорошо изученными. В настоящей работе мы продолжили исследования, ведущиеся в этом направлении. Используя стимулы двух резко отличающихся друг от друга модальностей ощущения (площадь круга и громкость), мы попытались проследить влияние нескольких факторов организации эксперимента, таких как взаимоотношения стимулов внутри тестового ряда, степени тренированности испытуемых, расположение стандарта в континууме предъявляемых сигналов и ряда других, на процесс шкалирования и на величину экспоненты в степенном законе Стивенса.

Методика. *Эксперимент 1. Площадь круга.* Испытуемыми были молодые люди обоего пола в возрасте от 17 до 28 лет, студенты Уральского университета, всего 194 человека, причем некоторые из них участвовали в эксперименте по нескольку раз, но не более четырех. Подбор испытуемых осуществлялся случайным образом.

В качестве стимулов использовались черные круги площадью от 177 до 66 019 мм^2, наклеенные на листы плотной белой бумаги форматом 300×300 мм: всего 11 стимулов, составляющих геометрическую прогрессию. Применялся метод оценки величины. Испытуемые должны были давать численную оценку каждому предъявленному тестовому стимулу относительно эталонного или стандартного стимула, которому заранее приписывалось определенное число. При этом испытуемые оценивали кажущуюся (проективную) площадь круга.

Эксперимент проходил в два этапа. На первом этапе ряд тестовых стимулов состоял из 11 раздражителей (во второй и третьей сериях — из 10). В первой серии оценка производилась относительно наибольшего по площади круга (66 019 мм^2), оцененного в 100 баллов. Во второй и третьей сериях соответственно — относительно наименьшего (177 мм^2) со значением 1

и среднего (4776 мм^2), оцененного в 50 баллов. Порядок предъявления стимулов в тестовом ряду был случайным. Испытуемые предварительно не были тренированы. Чтобы проследить влияние предварительной тренировки, в первой серии параллельно основному опыту несколько рядов стимулов были предъявлены двум группам испытуемых. Первой группе перед контрольным рядом давался тренировочный, в котором после ответа испытуемого сообщалась истинная оценка каждого стимула в баллах, вторая группа такой тренировки не получала.

На втором этапе, в целях упрощения последующего анализа, тестовой ряд был укорочен до двух раздражителей. Было отобрано 20 фиксированных пар стимулов, образующих различные сочетания. Оценка производилась относительно 100-балльного стандарта таким же образом, что и на первом этапе. Каждому испытуемому за один сеанс предъявлялось для оценки от 4 до 11 пар.

Эксперимент 2. Громкость. В эксперименте приняли участие 127 человек, некоторые из них привлекались по нескольку раз, но не более четырех, а также участвовали в предыдущем эксперименте. В качестве раздражителей использовались тональные звуковые сигналы частотой 1000 Гц в диапазоне от 35 до 90 дБ над абсолютным порогом, которые подавались бинаурально через головные телефоны SDA-40 с аудиометра АИГ-69 фирмы «ZALMED» (Польша). Экспериментальная процедура идентична применявшейся на втором этапе эксперимента 1. Эталоном (стандартом) служил звук наибольшей интенсивности (90 дБ), оцененный в 100 баллов. Тестовый ряд построен в геометрической прогрессии, причем стимулы, составляющие пары, образуют сочетания, подобные тем, что использовались в опыте.

Результаты. В психофизических исследованиях, особенно при решении проблем шкалирования, использование разнообразных геометрических характеристик стимулов (таких как площадь фигуры, длина линии, расстояние до объекта, величина угла и др.) достаточно распространено. То же самое можно сказать и о громкости. Однако если для громкости величина экспоненты, равная 0,6, сообщенная Стивенсом [4], не вызывает сомнений и разногласий в литературе (значение, близкое к этой величине, получено и нами), то для оценки площади круга картина совсем иная. Данные, приводимые в литературе по этому вопросу, весьма противоречивы. Сообщаются сведения о степенной функции с показателями степени меньшими и большими 1, линейной функции (или степенной с экспонентой, равной 1). Сводка данных по этому вопросу приведена в работах Павловской [11] и Леушиной [12]. Кроме того, можно дополнить эту сводку следующими данными, которые свидетельствуют о наличии линейной зависимости [13], степенной с показателем степени меньше 1 [11, 12, 14, 15], с показателем степени 0,90—1,15 [16].

В наших исследованиях выявлена степенная функция с величиной экспоненты больше 1. Довольно значительные колебания этой величины от 1,06 до 1,60 связаны с методическими особенностями наших экспериментов. В этой связи можно предположить тот факт, что все противоречия в приведенных выше данных имеют своей причиной различия в применяемых методических приемах построения субъективных шкал величины ощущения. В данном исследовании, однако, наибольший интерес для нас представляло не точное определение величины показателя степени и уточнение ранее полученных данных, а динамика его изменений в зависимости от действия различных факторов экспериментальной процедуры.

Влияние положения стандарта. Во всех трех сериях использовались одни и те же стимулы (круги), которые сравнивались с различными по величине стандартами: наименьшим, средним и наибольшим. Методом наименьших квадратов были вычислены показатели степенной функции [17] для всех стандартов (доверительные интервалы вычислены для уровня вероятности 0,95):

Наименьший	1,50±0,10
Средний	1,28±0,11
Наибольший	1,29±0,14

Мы видим, что наибольшая величина показателя степени получена при расположении стандарта в начале континуума предъявляемых сигналов. Она статистически достоверно отличается от полученных в двух других случаях. В то же время величины экспоненты при среднем и наибольшем значениях стандарта по существу идентичны.

Влияние степени тренированности наблюдателей. Две группы испытуемых оценивали площадь черных кругов по отношению к наибольшему стандарту. Первая группа перед контрольной серией получала тренировочную серию, вторая же предварительной тренировки не имела. Для каждой группы методом наименьших квадратов [17] был вычислен показатель степени. Эта операция произведена для трех вариантов последовательности предъявления стимулов в тестовом ряду. О влиянии тренированности наблюдателей на величину показателя степени n можно судить по следующим результатам (по первому, второму, третьему вариантам для нетренированных и тренированных испытуемых соответственно):

1,25±0,10	1,09±0,05
1,40±0,11	1,20±0,06
1,08±0,14	1,06±0,06

Для первого и второго вариантов стимульной последовательности наблюдалось статистически достоверное снижение величины показателя степени (при уровне вероятности 0,95) у тренированных наблюдателей, в третьем же случае некоторое

снижение имело место, но не было статистически значимым. Одновременно с этим для всех случаев наблюдалось уменьшение ошибки, что свидетельствует о меньшей степени вариации данных и о большем приближении к степенной функции.

Влияние взаимоотношений между тестовыми стимулами. На первом этапе экспериментов при достаточно большом числе стимулов в тестовом ряду, используя различный порядок их предъявления, были выявлены довольно значительные колебания величины показателя n: от 1,08 до 1,60. Однако эти колебания имели достаточно сложный характер, поэтому их анализ был весьма затруднителен. С целью упрощения анализа экспериментальных данных на втором этапе число тестовых стимулов было сокращено до двух. При этом анализировалось влияние таких факторов, как расстояние между тестовыми стимулами внутри континуума физических сигналов и величины предыдущего стимула на оценку последующего. В данной части экспериментов в качестве раздражителей использовались как площадь круга, так и громкость тонального звукового сигнала.

Влияние расстояния между тестовыми стимулами Δ на величину показателя n. Величина показателя степенной функции n зависит от расстояния между тестовыми стимулами Δ. Для площади круга это:

0,12	1,20±0,06	0,60	1,39±0,10
0,23	1,12±0,05	0,90	1,36±0,07
0,45	1,30±0,09	1,17	1,48±0,06

То же для громкости

0,25	0,40±0,07	1,75	0,50±0,03
0,50	0,37±0,07	2,00	0,61±0,07
1,00	0,44±0,04	2,50	0,69±0,08
1,25	0,45±0,05		

Как видно из приведенных данных, и для площади круга, и для громкости увеличение расстояния между стимулами вызывает увеличение величины показателя степени (корреляция в обоих случаях значима и достаточно высока: 0,891 и 0,787 соответственно). Другими словами, чем сильнее тестовые стимулы отличаются друг от друга, тем выше показатель степени, и наоборот. Заслуживает также внимания следующий факт: в обоих случаях заметно некоторое начальное понижение величины экспоненты с последующим ее увеличением. Необходимо отметить еще один феномен, имевший место в наших экспериментах и не нашедший отражения в табл. 1 и 2. При использовании пары стимулов малой площади или малой интенсивности, несмотря на то, что расстояние между раздражителями в данном случае незначительно, наблюдалось статистически значимое увеличение величины показателя степени, достигающее значений 2,35 для оценки площади и 0,98 — для громкости. Эти результаты не противоречат данным, приводимым Поултоном

Таблица 1

Отклонения оценок от средней величины в зависимости от величины предшествующего стимула для площади круга, лог. ед.

Балл	Средняя оценка	Расстояние от предшествующего стимула											
		—1,17	—0,90	—0,60	—0,45	—0,23	—0,12	0	0,12	0,23	0,60	0,90	1,17
77	1,903	0,007	—	0,006	—	—	0,0	—	—	—	—	—	—
59	1,749	—	0,015	—	—0,022	—	0,006	—	0,003	—	—	—	—
46	1,599	—	—	—	—	—	—	—	0,014	—	—	—	—
35	1,444	—	—	—	—	—0,016	—	—	—	—	—	—	—
21	1,159	—	—	—0,053	—	0,023	—	—	—	0,031	—	—	—
12	0,892	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—0,095	—
7	0,515	—	—	—	—	—	0,045	—	—	—	—	—0,055	—
5	0,269	—	—	—	—	—	—	—	0,019	—	0,060	—	—0,160

Таблица 2

Отклонения оценок от средней величины в зависимости от величины предшествующего стимула для громкости, лог. ед.

Балл	Средняя оценка	Расстояние от предшествующего стимула												
		—2,50	—2,00	—1,25	—1,00	—0,50	—0,25	0	0,25	0,50	1,25	1,75	2,00	2,50
56,2	1,904	0,020	—	—0,028	—	—	—0,054	—	—	—	—	—	—	—
31,6	1,769	—	0,003	—	—0,014	—	—0,057	—	0,018	—	—	—	—	—
17,8	1,631	—	—	—	—	—	—	—	0,026	—	—	—	—	—
10,0	1,479	—	—	—	—	—0,022	—	—	—	—	—	—	—	—
3,16	1,272	—	—	—0,136	—	—0,123	—	—	—	0,056	—	—	—	—
1,00	0,928	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,096	—	—
0,32	0,455	—	—	—	—	—	—0,157	—	—	—	—	—	0,160	—
0,18	0,113	—	—	—	—	—	—	—	0,113	—	0,026	—	—	0,087

Примечание. Средняя оценка подсчитана для случаев, когда предшествующий стимул предъявлялся первым.

[7], которые свидетельствуют об увеличении крутизны степенной функции в области, близкой к пороговой.

Влияние величины предыдущего стимула на оценку последующего. Как показали наши эксперименты, порядок предъявления раздражителей в паре оказывает влияние на величину оценки (в баллах) второго по счету тестового стимула (см. табл. 1, 2). В зависимости от того, какой величины был предыдущий стимул, оценка последующего претерпевала некоторые изменения. Такие изменения были обнаружены для обеих модальностей ощущения, причем необходимо отметить, что характер вариаций для оценки площади и для оценки громкости не совпадал. Действие величины предыдущего на оценку последующего стимула было более выражено для громкости, чем для площади круга, что не удивительно, так как оценивание геометрических характеристик субъективно более легкая операция, нежели оценивание силовых параметров стимула. Это отмечали также и испытуемые, принимавшие участие в экспериментах как с использованием площади круга, так и звуковых сигналов. По-видимому, этот феномен связан с тем, что оценивание площади более привычная и часто встречающаяся в повседневной жизни задача для испытуемых, поэтому они могут проявлять в данном случае некоторую независимость в суждениях, безотносительно к тому, какие стимулы и в каком порядке им были предъявлены. Данные для площади круга свидетельствуют о наличии лишь некоторого контраста в случае, когда предыдущий стимул много больше последующего. Для громкости, наоборот, если оцениваемому стимулу предшествовал больший по величине, то наблюдались ассимиляционный эффект или тенденция испытуемых давать оценки, более близкие к предшествующему стимулу. Такой же эффект наблюдался и в случае, когда перед оцениваемым стимулом предъявлялся незначительно меньший по величине раздражитель. Если же предшествующий стимул много меньше, то наблюдался переход к контрастным оценкам.

Обсуждение. Наши исследования посвящены главным образом изучению динамики изменений показателя степени в степенном законе Стивенса в зависимости от действия различных факторов эксперимента. Поэтому прежде чем анализировать конкретные экспериментальные данные, полученные нами, необходимо уяснить себе смысл этого показателя как в психологическом, так и в физиологическом плане, а затем в данном контексте рассматривать наши результаты. В этой связи возникает вопрос: правомерно ли будет приписывать ему вообще какой-либо биологический смысл, не является ли он простой математической абстракцией, позволяющей чисто математически наложить или вписать множество физических сигналов на или во множество возможных реакций субъекта? Такой подход лишь в некоторой степени позволяет объяснить ряд эксперимен-

тальных данных. Так, используя гипотезу Тетсуняна [1] постоянного диапазона суждений, представляется возможным объяснить показатель степени как параметр, позволяющий разные по величине динамические диапазоны раздражителей привести в соответствие с постоянным диапазоном суждений:

$$\frac{\log Ry}{\log Rx_1} = n_1; \qquad \frac{\log Ry}{\log Rx_2} = n_2.$$

Учитывая, что диапазон суждений log Ry постоянен, и допустив, что динамический диапазон раздражителей (максимальный диапазон стимулов, способных восприниматься человеком) для первой модальности больше, чем для второй: $\log Rx_1 > \log Rx_2$, получаем, что $n_2 > n_1$.

В качестве примера возьмем два континуума: яркость и электрический удар. Если первый характеризуется довольно широкой областью воспринимаемых величин стимулов, то электрическое раздражение человек способен воспринимать в весьма узком диапазоне интенсивностей. В соответствии с приведенными выше формулами показатель должен быть для электрического удара выше, нежели для яркости. Экспериментально полученные показатели степени дают при этом хорошее соответствие: 3,5 — для электрического удара и 0,33 — для яркости [4].

Подобные рассуждения при ряде допущений справедливы и для внутримодальных изменений показателя степени — увеличения экспоненты при уменьшении диапазона действующих стимулов [1, 7].

Однако ряд экспериментальных результатов не поддается объяснению при помощи такого операционального подхода. Например, такие данные, полученные в наших экспериментах ранее, как увеличение экспоненты вблизи порога или уменьшение ее при использовании предварительно тренированных наблюдателей, с этой точки зрения трудно объяснить. Поэтому ограничиваться лишь математической, операциональной, интерпретацией показателя степени недостаточно.

Изменение величины показателя степени в каждом отдельном случае помимо математического имеет, главным образом, эколого-физиологический или психологический смысл. С этой точки зрения и проанализируем изменения величины экспоненты. Необходимо отметить, однако, что анализ экспериментальных данных с такой позиции в той или иной степени проводился и ранее [18], однако недостаточно широко.

Приведенная выше классификация причин изменений величины показателя степени включает в себя три типа вариаций: межмодальные, между отдельными субъектами и связанные с действием различных факторов эксперимента. Рассмотрим их по порядку.

Все модальности по величине экспоненты можно разбить на

три группы: а) с экспонентами меньше 1, б) равными или близкими 1, в) больше 1. Как уже выше указывалось, межмодальные изменения экспоненты определяются различиями структурных и функциональных характеристик воспринимающей стимулы той или иной модальности сенсорной системы, то есть чисто физиологическими механизмами, которые в конечном итоге обслуживают какую-нибудь биологическую потребность организма. Отсюда изменения показателя степени также являются выражением разных биологических потребностей.

В самой природе степенной функции заложены искажения величины ощущения воспринимаемых физических стимулов. Причем эти искажения в зависимости от величины экспоненты (больше или меньше 1) носят противоположный характер. При показателе степени меньше 1 происходит наложение континуума физических сигналов на более узкий диапазон градаций ощущения.

В этом случае обеспечивается ограничение информационного потока, поступающего на вход сенсорной системы. Не случайно к числу модальностей, имеющих показатель степени меньше 1, относятся такие информационно богатые модальности, как яркость и громкость.

В данном случае такое ограничение достигается за счет ухудшения способности к дифференцированной оценке стимулов. В самом деле, близко расположенные на физической оси стимулы на сенсорной оси будут расположены еще ближе, а следовательно, возрастает вероятность их неразличения. Эта точка зрения расходится с выводами, сделанными в работе Рыбина и др. [18]. Наблюдавшееся понижение величины экспоненты в области 10—1000 лк, в которой наиболее часто приходится работать зрительной сенсорной системе, авторы связывают с улучшением способности к дифференцированной оценке стимулов в этом диапазоне яркостей. Но так как эта зона наиболее часто используется зрительной системой в своей работе, то, естественно, она является одновременно и самой информативной. Поэтому понижение величины экспоненты в данном случае выполняет ту же роль ограничивающего информационный поток фактора.

В случае, когда показатель степени больше 1, возникает прямо противоположное искажение. Относительно небольшой континуум физических сигналов при этом «растягивается» на большее по величине сенсорное пространство. В этом пространстве, следовательно, «образы» стимулов находятся на расстоянии большем, чем сами стимулы в пространстве сигналов. Другими словами, небольшое увеличение сигнала ведет за собой относительно бо́льший прирост в ощущении. Этим самым достигается лучшая способность к дифференцированной оценке стимулов. Такое свойство субъективной шкалы ощущений может иметь важный биологический смысл. Более быстрое воз-

растание величины ощущения (в частности, неприятного, такого как электрический удар) может предохранять человека от воздействия на него более высоких интенсивностей, чреватых опасностью.

Наконец, показатель степени может быть равным 1. В этом случае восприятие осуществляется без искажений, величина ощущения адекватна величине предъявляемого стимула. По-видимому, этот показатель присущ для стимулов таких модальностей, отражение которых требуется человеку без искажений, недаром экспонентой, равной единице или близкой к ней, обладают большинство шкал пространственных и временных характеристик стимулов.

Другой вид изменений — между отдельными субъектами — связан с конкретными особенностями восприятия каждого индивидуума и большого интереса в кругу рассматриваемых здесь проблем не имеет.

Более сложным представляется вопрос о влиянии на показатель степени факторов организации эксперимента. В большинстве случаев причины, обусловливающие те или иные изменения экспоненты, являются психологическими. Анализ же психологических механизмов, ввиду их многообразия и комплексности действия, весьма затруднителен. Поэтому мы можем пока говорить лишь о вероятных механизмах влияния тех или иных факторов. Однако, как нам кажется, можно выделить один общий принцип, основываясь на котором можно понять в некоторой степени динамику изменений экспоненты: использование дополнительной информации ведет к уменьшению показателя степени, и обратно, наличие некоторой неопределенности или, другими словами, недостаток информации ведет к его увеличению.

Рассмотрим в свете этого принципа полученные нами результаты.

Эксперимент с тренированными наблюдателями служит яркой иллюстрацией действенности указанного принципа. Предварительная тренировка с обратной связью в наших экспериментах вела к достоверному и довольно значительному понижению экспоненты и величины ошибки. Обратная связь являлась здесь той дополнительной информацией, о которой говорилось выше. В принципе представляется возможным добиться такого положения, когда степенная функция перейдет в линейную, то есть испытуемые будут оценивать без искажений и с весьма малыми вариациями. По-видимому, показатель степени, равный 1, будет пределом, лимитирующим дальнейшее понижение экспоненты, так как оно будет нецелесообразно для субъекта.

Как известно, по мере приближения к порогу неопределенность в нервной системе возрастает, поэтому можно предположить, что в данной области величина показателя степени должна быть больше. Полученные нами и ранее экспериментальные

результаты подтверждают сделанное предположение. Действительно, степенная функция в припороговой области характеризуется большей крутизной прямой.

В экспериментах с различным положением стандарта наибольшая величина экспоненты наблюдалась при наименьшем стандарте. Этот результат будет понятен в свете следующих замечаний: испытуемые, оценивая ряд стимулов, в основном придерживались 100-балльной шкалы оценок, по-видимому, наиболее привычной для человека. Выйти же за пределы этой шкалы было для них психологически трудно. При разном расположении стандарта это приводило к различным последствиям. При максимальном стандарте испытуемые в основном не давали оценок меньше 1 балла, то есть единица служила как бы дополнительным ориентиром при оценивании тестового ряда, своего рода информационным «якорем». При среднем положении стандарта такими пределами и дополнительными источниками информации были 1 и 100. В случае наименьшего стандарта величина модуля (равная 1) задавала небольшой масштаб шкалы, поэтому возможный психологический предел шкалы оценок — 100 — был достаточно далеко и не мог служить ориентиром. В данном случае различного положения стандарта дополнительная информация опять приводила к понижению экспоненты.

С этих позиций можно рассмотреть также влияние расстояния между стимулами на величину показателя степени.

Как правило, испытуемые рядом стоящие стимулы оценивали более точно, чем отстоящие на большем расстоянии в сенсорном пространстве, так как, по-видимому, близкие раздражители имеют больше сходства, а следовательно, больше информации могут дать для оценки следующего стимула. Отсюда результат — чем больше расстояние между тестовыми стимулами, тем выше экспонента.

Заключая обсуждение, необходимо отметить, что рассмотренные в этой статье причины, определяющие динамику изменений показателя степени Стивенса, не могут быть исчерпывающими и требуют дополнения и более детального рассмотрения. Однако выдвинутая здесь гипотеза влияния на величину экспоненты количества доступной субъекту информации, как нам кажется, может быть плодотворной основой для дальнейших экспериментов в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Teghtsoonian R., Teghtsoonian M.** Range and regression effects in magnitude scaling.— Percept. a. Psychophys., 1978, v. 24, p. 305.

2. **Curtis D. W., Attneave F., Harrington T. L.** A test of two stage model for magnitude estimation.— Percept. a. Psychophys., 1968, v. 3, p. 25.

3. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977.

4. **Stevens S. S.** The psychophysics of sensory function.— In: Sensory Communication (W. S. Rosenblith, ed.). N. Y., 1961.

5. **Jones F. N., Marcus J. J.** The subject effect in judgements of subjective magnitude.— J. exp. Psychol., 1961, v. 61, p. 40.

6. **Ратанова Т. А.** Сила нервной системы и интенсивность ощущений.— Вопр. психологии, 1975, № 5, с. 34.

7. **Poulton E. C.** The new psychophysics: six models for magnitude estimation.— Psychol. Bull., 1968, v. 69, p. 1.

8. **Stevens S. S.** On the psychophysical law.— Psychol. Rev., 1957, v. 64, p. 153.

9. **Ward L. M., Lockhead G. R.** Sequential effects and memory in category judgements.— J. exp. Psychol., 1970, v. 84, p. 27.

10. **Cross D. V.** Sequential dependencies and regression in psychophysical judgements.— Percept. a. Psychophys., 1973, v. 4, p. 547.

11. **Павловская М. Б.** О зависимости между размером зрительного изображения и его оценкой.— Физиол. человека, 1976, т. 2, с. 571.

12. **Леушина Л. И.** Зрительное пространственное восприятие. Л., 1978.

13. **Ратанова Т. А.** Субъективное шкалирование воспринимаемых объектов.— В кн.: Сенсорные и сенсомоторные процессы. М., 1972, с. 197.

14. **Stevens S. S., Guirao M.** Subjective scaling of length and area and the matching of length to loudness and brightness.— J. exp. Psychol., 1963, v. 66, p. 177.

15. **Dawson W. E., Waterman S. P.** Effects of session and intrasession repetition on individual power law exponents.— Bull. Psychonom. Soc., 1976, v. 7, p. 306.

16. **Пьерон А.** Психофизика.— В кн.: Экспериментальная психология. Под ред. П. Фресс и Ж. Пиаже. М., 1966, с. 241.

17. **Cross D. V.** Some technical notes on psychophysical scaling.— In: Sensation and Measurement. Dordrecht—Boston, 1974, p. 24.

18. **Рыбин И. А., Сергеева А. Н., Муромцева Г. А.** О некоторых особенностях субъективных шкал яркости.— Физиол человека, 1980, т. 6, с. 451.

УДК 612.821.8

Л. А. ПАЖЕТНОВА, Л. А. ТЕРЕШИНА

ИССЛЕДОВАНИЕ ПСИХОФИЗИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА

Известно, что характер психофизической функции субъективной оценки сенсорного раздражителя существенно зависит от последовательности предъявляемых стимулов [1—3]. Еще в конце прошлого века Меркель [4], используя метод равноделения, обнаружил, что психофизические функции, описывающие кривые субъективной оценки сенсорного стимула в серии возрастающей и убывающей интенсивности, не совпадают друг с другом. При этом если крайние значения диапазона субъективных оценок фиксированы, то результирующие кривые образуют характерную петлю, которая по аналогии с известным физическим явлением получила название «психофизического гистерезиса» [2]. Несмотря на то, что феномен психофизического гистерезиса известен давно и установлен для стимулов различных модальностей, в психофизической литературе уделяется чрезвычайно мало внимания исследованию и анализу этого интересного явления. По крайней мере, в доступной нам литературе мы обнаружили лишь одну работу, посвященную исследованию данного вопроса [5]. В то же время исследования феномена психофизического гистерезиса представляют значительный интерес в плане разработки теоретических основ сенсорного восприятия, а также имеют практическое значение для решения ряда проблем в инженерной психологии, физиологии труда и т. д., так как непосредственно связаны с деятельностью операторов по обнаружению, различению и оценке сенсорного сигнала.

В данной работе исследовались некоторые количественные закономерности психофизического гистерезиса для четырех сенсорных модальностей (оценка яркости светового стимула, громкости тонального звука, интенсивности вкусового ощущения и тяжести поднимаемого груза). Сделана попытка интерпретировать полученные результаты с точки зрения психофизиологических механизмов сенсорного восприятия.

Методика. Задача испытуемых в опытах по психофизическому шкалированию состояла в том, чтобы дать адекватную количественную оценку интенсивности световых, звуковых, вкусовых и кинестетических раздражителей, которая изменялась в процессе опыта в возрастающем, убывающем или случайном порядке. Использовался метод произвольного шкалирования, когда испытуемому задавалось значение только первоначаль-

ного стимула (в баллах), который служил в качестве своеобразной точки отсчета; значения же всех последующих стимулов оценивались испытуемым произвольно, по отношению к величине первоначального стимула либо по отношению к каждому предыдущему, без каких-либо ограничений размерности субъективной шкалы, любыми целыми или дробными положительными числами, отличными от нуля. В серии возрастания интенсивности точкой отсчета служил минимальный стимул, значение которого устанавливалось экспериментатором равным 1 баллу; в серии убывающей интенсивности первому (максимальному) стимулу приписывалось значение 100 баллов, а при случайном предъявлении точкой отсчета (эталоном) служил стимул средней интенсивности, оцениваемый экспериментатором в 10 баллов.

Оценка яркости. В качестве раздражителей использовались световые пятна диаметром 3 угл. град., проецируемые на экране в 1,5 м от испытуемого с помощью диапроектора. Освещенность пятен менялась при помощи градуированных нейтральных светофильтров в диапазоне 4 лог. ед. (от 0,02 до 200 лк). Перепады яркости между соседними стимулами соответствовали 0,3 лог. ед. Время экспозиции стимулов и интервалы между предъявлениями составляли 5 сек. Опыт начинался после предварительной 5-минутной темновой адаптации.

Оценка громкости. В качестве стимулятора использовался звукогенератор ЗГ-10 с головными телефонами. Интенсивность тонального звука с частотой 1000 Гц менялась в диапазоне 4 лог. ед. (от 5 до 85 дБ над уровнем абсолютного порога). Перепады громкости между соседними стимулами соответствовали 10 дБ. Время предъявления раздражителей и интервалы между ними составляли 5 сек.

Оценка вкусового ощущения. В опытах использовался набор растворов лимонной кислоты различной концентрации, градуированной в логарифмической прогрессии в диапазоне 2,4 лог. ед. (от 0,01 до 2,5 М) с шагом в 0,2 лог. ед. После нанесения на корень языка испытуемого 0,1 мл тестируемого раствора ему предлагалось сделать глотательное движение и в течение 10 сек. оценить интенсивность полученного при этом вкусового ощущения. После каждой пробы испытуемый споласкивал ротовую полость дистиллированной водой. Интервалы между нанесениями тестируемого раствора составляли 25—30 сек.

Оценка тяжести. Испытуемые оценивали вес груза, помещенного на плексигласовой пластинке размером 100×80 мм, накладываемой на ладонную поверхность кисти. При этом локтевой сустав испытуемого фиксировался на мягкой поролоновой подкладке, а предплечье и кисть испытуемый держал на весу. Диапазон весов предъявляемых грузов составлял 1,8 лог. ед. (от 17 до 1077 г) с шагом в 0,15 лог. ед. Время экспозиции стимулов и интервалы между ними — 5 сек.

Всего было проведено 180 опытов на 15 испытуемых. Полученные данные усреднялись по всем испытуемым по средним геометрическим значениям всех повторностей. Суммарные кривые субъективной оценки яркости, громкости, вкусового ощущения и тяжести строились в двойных логарифмических координатах и аппроксимировались степенными функциями по Стивенсу. Методом наименьших квадратов с линейным уравнением регрессии определялись величина показателя степени и ошибки регрессии функции субъективного шкалирования.

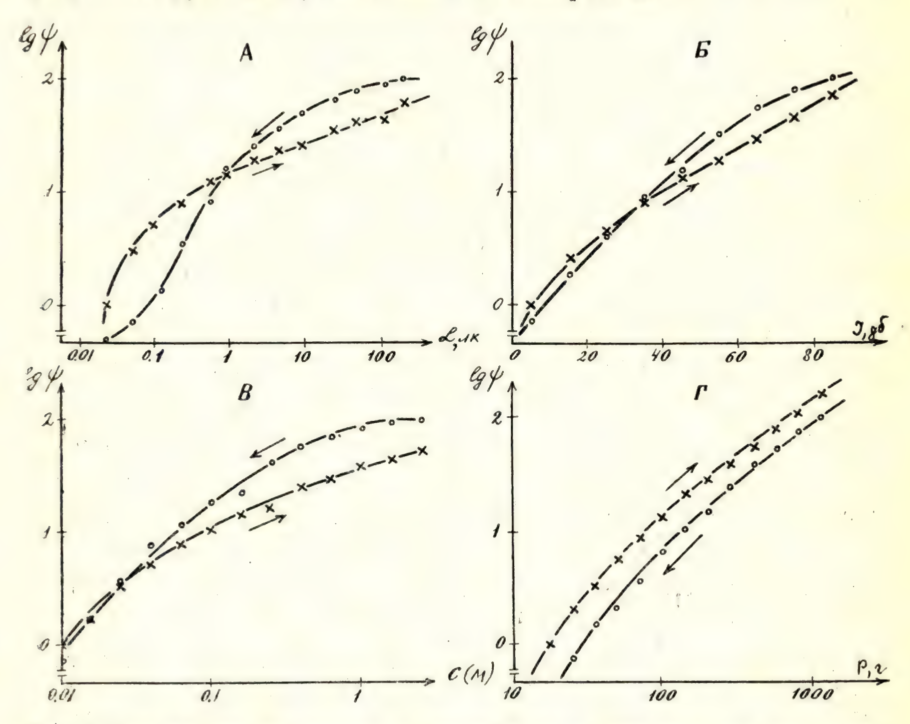


Рис. 1. Зависимость субъективного шкалирования интенсивности сенсорного стимула от порядка предъявления раздражителей. *А* — субъективная оценка яркости, *Б* — оценка громкости, *В* — оценка вкусового ощущения, *Г* — оценка тяжести. По оси абсцисс — логарифм интенсивности (*А* — освещенность, лк, *Б* — звуковое давление, *дБ* над порогом, *В* — концентрация раствора, М; *Г* — вес груза, г). По оси ординат — логарифм субъективной оценки

Результаты исследований. На рис. 1 представлены кривые субъективной оценки яркости (А), громкости (Б), вкусового ощущения (В) и тяжести (Г) при предъявлении стимулов в порядке возрастания и убывания интенсивности. Можно видеть, что для разных модальностей кривые субъективного шкалирования имеют неодинаковое приближение к степенной функции. Однако, несмотря на различия в характере кривых, обращает на себя внимание тот факт, что во всех случаях кривые в сери-

ях возрастающей и убывающей интенсивности не совпадают друг с другом и что наклон функции относительно оси абсцисс всегда выше в серии убывания интенсивности (серия D, decrement) по сравнению с возрастающей серией (I, increment). Более наглядно это иллюстрируется данными, представленными в табл. 1, которая отражает величину показателей степени функции Стивенса и значения ошибки регрессии при шкалировании стимулов различной модальности, предъявляемых в порядке возрастания и убывания интенсивности. В табл. 1 значения $b \pm t_n \cdot \sigma_b$ соответствуют величине экспоненты степенной функции с доверительным интервалом для вероятности 95 %, σ — величина ошибки регрессии.

Таблица 1

Зависимость параметров функции психофизического шкалирования от порядка предъявления раздражителей

Модальность	Серия I		Серия D	
	$b \pm t_n \cdot \sigma_b$	σ	$b \pm t_n \cdot \sigma_b$	σ
Яркость	0,260±0,011	0,119	0,567±0,015	0,215
Громкость	0,344±0,003	0,036	0,591±0,009	0,097
Вкус	0,690±0,018	0,114	0,862±0,026	0,205
Тяжесть	1,179±0,013	0,069	1,336±0,014	0,076

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что независимо от модальности предъявляемого раздражителя величина показателя степени функции субъективного шкалирования при декрементном предъявлении стимулов всегда выше по сравнению с величиной экспоненты при их инкрементном предъявлении. Аналогичные соотношения наблюдаются и для величины ошибки регрессии, которая характеризует величину статистического разброса данных и степень приближения функции к степенной зависимости.

Для определения величины психофизического гистерезиса для стимулов различной модальности мы использовали различия величин экспонент в сериях убывающей и возрастающей интенсивности. Величина гистерезиса (H_b) определялась по формуле:

$$H_b = \frac{b_d - b_i}{b_d + b_i},$$

где b_d и b_i — значения показателя степени в декрементной и инкрементной сериях соответственно. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2

Величина психофизического гистерезиса для стимулов различной модальности

Показатель	Яркость	Громкость	Вкус	Тяжесть
$b_D - b_I$	0,307	0,247	0,172	0,157
$b_D + b_I$	0,827	0,935	1,552	2,515
H_b	0,371	0,264	0,111	0,062

По данным табл. 2 можно видеть, что изменение последовательности предъявляемых стимулов для разных модальностей оказывает неодинаковое влияние на характер психофизической функции. Об этом свидетельствуют различия величины H_b, которая закономерно снижается в ряду «яркость→громкость→вкусовое ощущение→тяжесть».

В этой серии опытов, где стимулы предъявлялись испытуемым в случайном порядке, получены психофизические функции, параметры которых не совпадают со значениями, полученными при последовательном предъявлении раздражителей. Значения экспоненты и ошибки регрессии для этих функций приведены в табл. 3.

Таблица 3

Параметры функции психофизического шкалирования при случайном предъявлении стимулов

Показатель	Яркость	Громкость	Вкус	Тяжесть
$b \pm t_n \cdot \sigma_b$	0,361±0,015	0,558±0,006	0,730±0,018	1,259±0,012
σ	0,167	0,106	0,161	0,070

Можно видеть, что параметры психофизической функции при случайном чередовании стимулов не совпадают ни со значениями b и σ в сериях возрастания и убывания интенсивности, ни с их усредненными значениями (см. табл. 1). Это, по-види-

мому, свидетельствует о том, что при случайном изменении величины раздражителя имеет место иной способ оценки сенсорного сигнала, чем в случае ее закономерного возрастания или убывания.

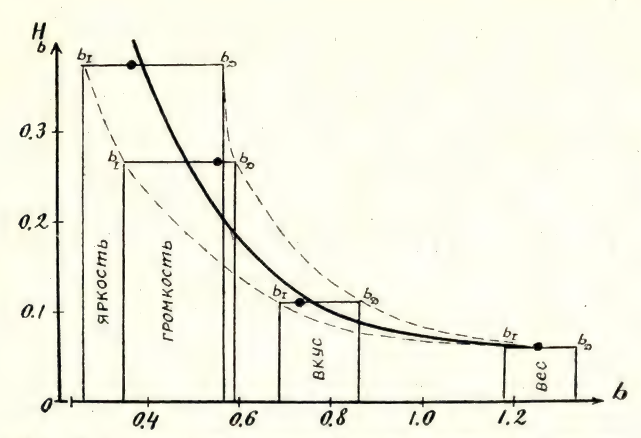


Рис. 2. Зависимость величины психофизического гистерезиса от абсолютного значения показателя степени для стимулов различной модальности

Мы попытались установить характер соотношения между величиной психофизического гистерезиса для стимулов различной модальности и абсолютным значением показателя степени для оценки раздражителя данной модальности. Результирующая кривая представлена на рис. 2. Значения диаграмм по оси абсцисс на рис. 2 соответствуют разности величин экспонент при инкрементном и декрементном предъявлении стимулов, точки на вершинах диаграмм соответствуют величине показателей степени при случайном предъявлении раздражителя. Можно видеть, что величина психофизического гистерезиса (значения по оси ординат) асимптотически убывает с увеличением абсолютного значения экспоненты для данной сенсорной модальности (кривая на рис. 2 в первом приближении имеет вид гиперболы).

Другими словами, чем больше величина показателя степени для стимулов данной модальности, тем меньшее влияние оказывает последовательность предъявляемых стимулов на характер субъективной оценки.

Обсуждение результатов. Выбор метода произвольного шкалирования для исследования психофизического гистерезиса в нашей работе не случаен, так как он сводит к минимуму те ограничения, которые неизбежно связаны с формированием шкалы субъективных оценок. В то же время введение произволь-

ных точек отсчета при шкалировании произвольным методом не должно оказывать существенного влияния на характер психофизической шкалы. В самом деле, независимо от того, устанавливается ли значение стандарта равным 1, 10 или 100 баллам, это не должно оказывать влияния на наклон психофизической функции в двойных логарифмических координатах, происходит лишь линейное смещение результирующих кривых относительно друг друга и координатной оси. Тем не менее, результаты исследований показывают, что крутизна функции (величина экспоненты), а также величина ошибки регрессии при закономерном убывании стимулов всегда выше, чем при их возрастании. В одной из наших работ [6] было определено, что увеличение показателя степени для стимулов одной и той же модальности, сопровождающееся возрастанием ошибки шкалирования, свидетельствует об ухудшении субъективной оценки данного стимульного ряда. В связи с этим можно предположить, что оценка стимулов возрастающей интенсивности более точна и осуществляется в более оптимальном режиме по сравнению со стимульным рядом убывающей интенсивности.

Каковы причины этого явления? Возможно, в нем кроется определенный физиологический смысл, так как в реальных условиях работы сенсорной системы значительно важнее обнаружить и оценить нарастающий во времени раздражитель, который, как правило, несет биологически более значимую информацию, чем стимул убывающей интенсивности. Что же касается физиологических механизмов данного явления, то одним из факторов, обусловливающих наличие психофизического гистерезиса, может являться адаптационный фактор. Роль этого фактора, вероятно, заключается в том, что на оценку сигнала может оказывать существенное влияние уровень адаптации к предыдущему стимулу, а также характер его изменения во времени. Так, для зрительной системы показано, что величина экспоненты степенной функции значительно возрастает при повышении уровня световой адаптации испытуемого [7, 8], например при помещении рядом с тестовым пятном более яркого источника света [9]. Однако является ли фактор адаптации единственной причиной, обусловливающей различия субъективных шкал оценки возрастающего и убывающего стимульного ряда,— вопрос, требующий дальнейшего разрешения. По-видимому, не следует игнорировать и некоторых факторов психологического плана (например, использование при шкалировании прямого или обратного ряда количественных оценок и т. д.), обусловливающих «асимметрию» сенсорного восприятия.

Представляет несомненный интерес тот факт, что величина психофизического гистерезиса для стимулов различной модальности неодинакова. По-видимому, обратная корреляция между H_b и b не случайна. Как известно, чем ниже показатель степени для данной сенсорной системы (величина b для стимулов

различных модальностей варьирует от 0,33 до 3,50), тем шире динамический диапазон системы и тем больше ее относительная дифференциальная чувствительность к изменениям силы сенсорного раздражителя. В работе Тетсуняна, например, установлена четкая корреляция между величиной экспоненты и значениями дифференциальных порогов для различных сенсорных систем [10]. Вполне возможно, что те сенсорные системы, для которых показатель степени функции шкалирования наиболее низок, обладают наибольшей чувствительностью не только к изменениям интенсивности раздражителя, но и к другим преобразованиям стимульного ряда (в частности, к изменению последовательности предъявления стимулов).

В заключение следует отметить, что исследование психофизического гистерезиса только для четырех сенсорных модальностей не может дать ясного и четкого представления о природе и основных закономерностях этого интересного феномена.

Предлагаемая работа является лишь первой попыткой такого рода, и рассматриваемая проблема требует дальнейшей разработки.

Выводы. 1. В психофизических опытах по субъективному шкалированию яркости, громкости, вкусового ощущения и тяжести обнаружено, что порядок предъявления стимулов оказывает существенное влияние на оценку интенсивности сенсорного сигнала.

2. Установлено, что величина показателя степени функции Стивенса и ошибка регрессии функции субъективного шкалирования для стимулов одной и той же модальности достоверно ниже в серии возрастания интенсивности, по сравнению с убывающей серией.

3. Показано, что величина психофизического гистерезиса, определяемая по различиям величины экспоненты в сериях убывающей и возрастающей интенсивности для стимулов различных модальностей неодинакова и уменьшается с увеличением абсолютного значения показателя степени для данной модальности.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977, с. 288.

2. **Льюс Р., Галантер Е.** Психофизические шкалы.— В кн.: Психологические измерения. М., 1967, с. 111.

3. **Stevens S. S.** To honour Fechner and repeal his law.— Science, 1961, v. 113, N3446, p. 80.

4. **Merkel J.** Die Abhangigkeit zwischen Reiz und Empfindung.— Phil. Stud., 1888, Bd. 5, S. 245, 498.

5. **Eisler H., Ottander Ch.** On the problem of hysteresis in psychophysics.— J. exp. Psychol., 1963, v. 65, N6, p. 530.

6. **Лупандин В. И., Рыбин И. А.** Исследование степенной функции Стивенса для восприятия яркости.— Физиол. журн. СССР, 1980, т. 66, № 11, с. 1640.
7. **Stevens J. C., Stevens S. S.** Brightness function: effect of adaptation.— J. Opt. Soc. Amer., 1963, v. 53, N3, p. 375.
8. **Stevens S. S., Stevens J. C.** Brightness function: parametric effects of adaptation and contrast.— J. Opt. Soc. Amer., 1960, v. 50, N11, p. 1139.
9. **Stevens J. C.** Families of converging power functions in psychophysics.— In: Sensation and Measurement. Dordrecht—Boston, 1974, p. 157.
10. **Teghtsoonian R.** On the exponents in Stevens' law and the constants in Ekman's law.— Psychol. Rev., 1971, v. 78, N1, p. 71.

УДК 612.821.8

Н. Ф. КОНОВАЛОВА

О ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СУБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКИ ЯРКОСТИ

Основными проблемами психофизики с момента ее возникновения являются проблемы порогов чувствительности и метрики пространства ощущений. Связь этих двух проблем пытались установить через понятие основного психофизического закона, впервые предложенного Фехнером в 1860 году [1]. Известно, что закон Фехнера основывался на правиле Вебера (правило постоянства дифференциальных порогов) и некоторых математических постулатах. Однако уже в конце прошлого века закон Вебера—Фехнера был подвергнут основательной критике со стороны ряда исследователей. Так, было показано, что правило Вебера ($\Delta S/S = \mathrm{const}$) применимо лишь к диапазону средних значений силы раздражителя, в то время как при низких и высоких интенсивностях стимула оно нарушается (см. обзор [2]). В противовес методике Фехнера, основанной на измерении дифференциальной чувствительности, в психофизике появились прямые методы измерения субъективных величин. Так, Плато, а позднее Меркель [3] разработали методы равноделения и удвоения стимула, которые позднее претерпели существенную модификацию и получили распространение как методы установки величины и установки отношений. Большинство исследователей отмечают, что субъективные шкалы, построенные при использовании данных методов, не являются логарифмическими, а имеют вид степенной функции (линейная зависимость в двойных логарифмических координатах).

Другим методом измерения является метод группировки (категорий), заключающийся в субъективном дроблении заданного диапазона на ряд равноотстоящих градаций (категорий). Было показано, что категориальная шкала также не является строго логарифмической, но не может быть описана и степенной функцией, а занимает как бы промежуточное положение между ними [4, 5].

Наконец, большую популярность в психофизике приобрели методы, разработанные главным образом школой Стивенса,— метод кросс-модального подбора и метод прямой количественной оценки (см. [6]). При использовании данных методов также была показана несостоятельность логарифмического закона Вебера—Фехнера, поскольку кривые психофизического шкалирования для разных модальностей могли с хорошим приближением описываться экспоненциальной функцией (см. [3]).

В последние десятилетия, в связи с накоплением экспериментальных данных и развитием теории психофизического шкалирования, возникли серьезные возражения против универсального степенного закона Стивенса. Они сводятся, в основном, к следующему:

1. Существует два ряда (континуума) стимулов, но только один из них подчиняется степенному закону Стивенса, второй же — логарифмическому закону Фехнера (см. [7, 8]).

2. Эксперименты показали, что все эмпирически полученные шкалы можно разбить на 3 группы, одна из которых следует закону Фехнера, другая — закону Стивенса, третья не подчиняется ни тому, ни другому закону и занимает положение, промежуточное между логарифмической и степенной функциями [7—9].

3. Целый ряд возражений связан с тем, что процедурные моменты опыта (изменение диапазона стимулов, вероятность появления разных стимулов, якорные эффекты и т. д. существенно изменяют форму психофизической функции (см. [5, 7, 8]).

Все вышесказанное позволяет усомниться в универсальности степенной функции Стивенса для оценки сенсорного стимула и вместе с тем побуждает исследователей снова и снова ставить вопрос о существовании основного психофизического закона.

В настоящее время существует два основных подхода к вопросу о взаимосвязи логарифмического закона Вебера — Фехнера и степенного закона Стивенса. Одни авторы считают, что в основе этих законов лежат различные физиологические механизмы (различение и оценка сигналов). Так, Буркхардт [10] показал, что при определенных условиях эксперимента изменяется кривая оценки яркости, в то время как величина дифференциальных порогов остается без изменений. Глезер и Подвигин [11] предполагают, что механизм, с помощью которого производится сравнение двух сигналов, определяет закон Вебера—Фехнера и связан с кодированием сигнала до его декодирования в ощущение, в то время как механизм, осуществляющий оценку величины сигнала, связан с его декодированием и обусловливает наличие закона Стивенса. С другой стороны, ряд исследователей считают степенную, логарифмическую и промежуточные формы зависимости частными случаями более общего, универсального психофизического закона, предлагая для его выражения различные математические интерпретации [12—15]. Забродин и Лебедев [7], анализируя математические выкладки вышеуказанных авторов, предлагают следующую формулу обобщенного психофизического закона:

$$\frac{ds}{S_a} = a_R \frac{dR_a}{R_a^z},$$

где величина z может принимать значения от 0 до 1. При z=0

это уравнение превращается в формулу Фехнера, а при $z=1$ описывает степенную функцию Стивенса. В свою очередь, величина z, по мнению авторов, отражает количество информации, которое несет данный раздражитель.

Таким образом, вопрос о существовании основного психофизического закона вообще и о взаимосвязи законов Фехнера и Стивенса в частности до сих пор не решен до конца. Принимая во внимание тот факт, что функция субъективного шкалирования даже для стимулов одной модальности весьма вариабельна и в значительной мере зависит от методики эксперимента, в нашей работе мы попытались выявить степень вариабельности для субъективных шкал яркости светового стимула, используя в эксперименте различные методы субъективного шкалирования.

Методика. Субъективное шкалирование яркости светового стимула исследовалось в 180 психофизических опытах на 50 испытуемых в возрасте от 13 до 36 лет. В качестве стимулов использовались световые пятна диаметром 3 угл. град., которые экспонировались на экране при помощи диапроектора на расстоянии 1,5 м от испытуемого. Освещенность пятен менялась посредством градуированных нейтральных светофильтров в диапазоне 4 лог. ед. (от 0,02 до 200 лк). Опыты проводились после предварительной 5-минутной темновой адаптации. Время экспозиции стимулов, а также интервалы между ними составляли 5 сек. Использовалось 3 метода психофизического шкалирования: метод группировки, метод сравнения со стандартом и метод произвольного шкалирования.

Метод группировки. В начале серии испытуемому предъявлялись 2 стандартных стимула (световые пятна минимальной (0,02 лк) и максимальной (200 лк) освещенности), субъективно воспринимаемую яркость которых предлагалось запомнить. Затем в случайном порядке предъявлялись стимулы промежуточной яркости, которые испытуемый должен был разбить на 5 субъективно равноотстоящих групп (категорий), обозначаемых рядом последовательных чисел (от 1 до 5). Каждый опыт состоял из 3—4 серий, в каждой из которых предъявлялись минимальный и максимальный стандарты и 3 тестовых стимула.

Метод сравнения со стандартом. Испытуемым предъявлялось 4 серии стимулов, в каждой из которых один стимул был стандартным и 3 — тестовыми. Вначале предъявлялся стандарт, условно оценивавшийся экспериментатором в 10 баллов, затем в случайном порядке 3 стимула меньшей яркости, каждый из которых оценивался по 10-балльной шкале по отношению к яркости стандарта. Тестовый стимул минимальной яркости в одной серии служил в то же время стандартным стимулом для другой и т. д., что обусловливало относительную непрерывность всего стимульного ряда в диапазоне от 0,02 до 200 лк. В связи с этим мы считали правомерным строить суммарную кривую

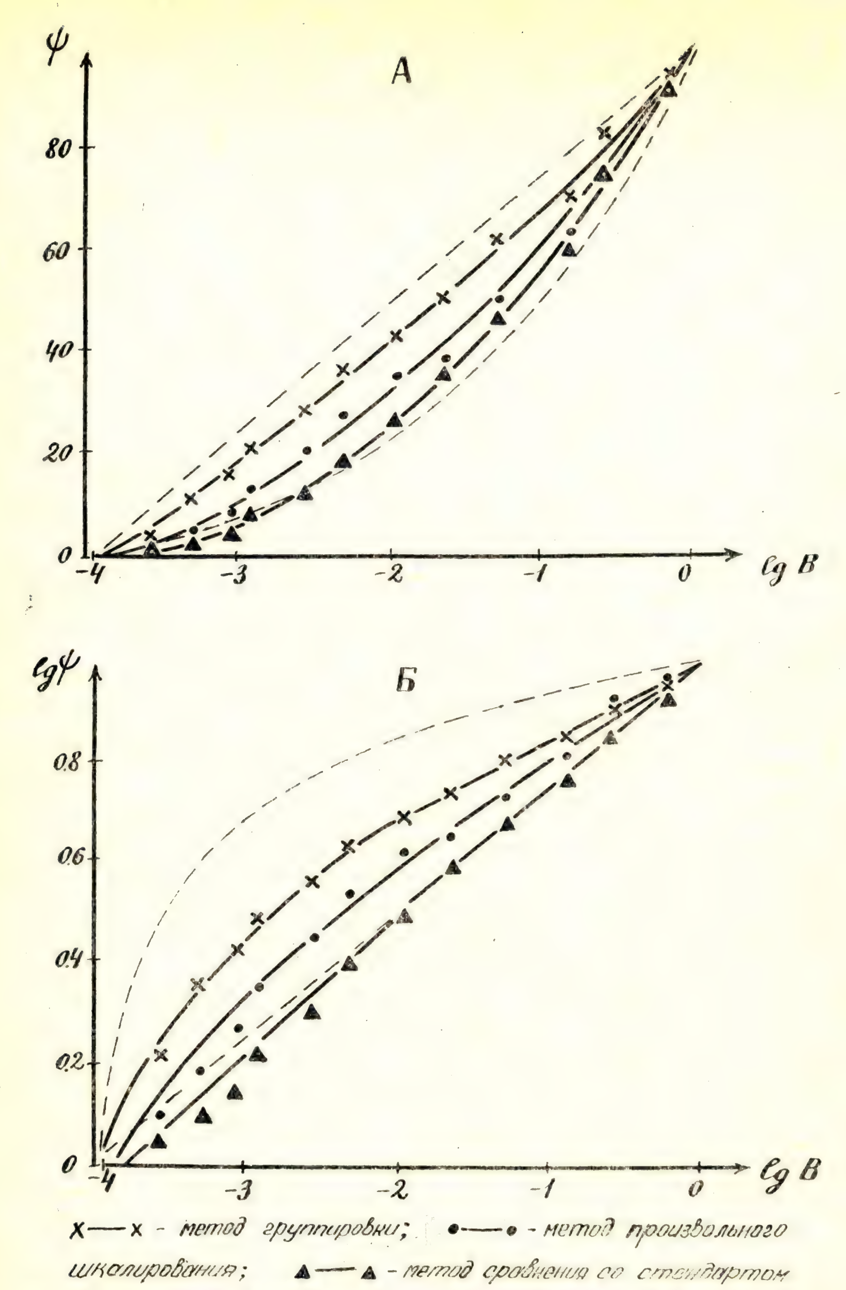
оценки яркости по значениям субъективных оценок, полученных в отдельных поддиапазонах, тем более что все кривые строились в двойных логарифмических координатах.

Метод произвольного шкалирования. При использовании данного метода испытуемый оценивал яркость предъявляемых стимулов по произвольной, им самим выбранной шкале, без каких-либо ограничений. Допускались оценки стимулов любыми целыми или дробными положительными числами, отличными от нуля. Эксперментатором задавалось значение яркости только первоначально предъявляемого стимула, которое служило своеобразной точкой отсчета.

Данные, полученные при использовании каждого из описанных методов, усреднялись по средним геометрическим значениям всех повторностей по всем испытуемым. Кривые субъективной оценки яркости строились как в полулогарифмических, так и в двойных логарифмических координатах.

Результаты исследований. На рисунке представлены кривые субъективной оценки яркости, полученные при использовании различных методов: группировки, сравнения со стандартом и произвольного шкалирования. Кривые приведены как в полулогарифмических (рис., А), так и в двойных логарифмических координатах (рис., Б). Для проведения анализа кривых все они приведены к единой шкале. Пунктиром обозначены теоретические степенная и логарифмическая функции, соединяющие верхнюю и нижнюю точки экспериментальных кривых. Можно видеть, что, хотя ни одна из кривых не может быть описана ни строго логарифмической, ни строго степенной функцией, в целом все они укладываются в диапазоне между этими двумя формами зависимости, причем каждая из них имеет большее приближение либо к той, либо к другой функции.

Можно видеть, что в полулогарифмических координатах кривая субъективной оценки яркости по методу группировки имеет наибольшее приближение к линейной функции, описывающей закон Фехнера, а кривая оценки по методу сравнения со стандартом — наименьшее. В двойных логарифмических координатах, наоборот, степень приближения к линейной функции максимальна для кривой оценки по методу сравнения со стандартом, то есть она с большим приближением может быть описана степенной функцией Стивенса. В то же время нетрудно заметить, что кривая оценки по методу произвольного шкалирования в обоих случаях занимает положение промежуточное между логарифмической и степенной зависимостью. Достоверность различий между кривыми и разную степень приближения к логарифмической и степенной функции подтверждают данные анализа кривых по методу наименьших квадратов, что иллюстрируется таблицей. Значения $b \pm t_n \cdot \sigma_b$ соответствуют тангенсу угла наклона функции относительно оси абсцисс с доверительным интервалом для вероятности 95 % (в логарифмических



Кривые субъективной оценки яркости светового стимула при использовании различных методов психофизического шкалирования. *А* — полулогарифмические координаты; *Б* — двойные логарифмические координаты

координатах величина соответствует показателю степени функции Стивенса), σ — величина ошибки регрессии, характеризующая степень приближения кривой к линейной функции.

Зависимость параметров функции субъективной оценки яркости от метода психофизического шкалирования

Метод шкалирования	Расчетная величина в координатах			
	логарифмы		полулогарифмы	
	$b \pm t_n \cdot \sigma_b$	σ	$b \pm t_n \cdot \sigma_b$	σ
Группировка	2,182±0,017	0,308	0,219±0,004	0,079
Произвольное шкалирование	2,372±0,081	0,741	0,255±0,006	0,053
Сравнение со стандартом	2,212±0,057	0,832	0,267±0,002	0,028

Можно видеть по данным таблицы, что значения ошибки регрессии в полулогарифмических координатах максимальны для метода сравнения со стандартом и минимальны для метода группировки, в логарифмических координатах соотношения обратные. Достоверность различий между кривыми подтверждается значениями угла наклона функции ($b \pm t_n \cdot \sigma_b$).

Таким образом, при использовании различных методов психофизического шкалирования получено семейство кривых, имеющих зависимость, промежуточную между логарифмической и степенной функциями.

Обсуждение результатов. Известно, что чисто логарифмическая зависимость (применительно к психофизическому шкалированию) означает, что равным интервалам на логарифмической шкале интенсивности соответствуют равные интервалы на шкале субъективных оценок: $\psi_m - \psi_n = k(\ln \varphi_m - \ln \varphi_n)$, в то время как чисто степенная зависимость означает, что равным интервалам на логарифмической шкале интенсивности соответствуют равные отношения субъективных оценок: $\ln(\psi_m/\psi_n) = \ln \varphi_m - \ln \varphi_n$, то есть в этом случае мы имеем дело со шкалой отношений.

Можно предположить, что шкала интервалов и шкала отношений являются крайними вариантами наиболее общей психофизической шкалы, отражающей взаимосвязь между стимулом и ощущением. Очевидно, инструкция, даваемая испытуемому, создает определенную субъективную установку по поводу упорядочения предъявляемого стимульного ряда. По-видимому, эта установка различна в зависимости от конкретной задачи, которую решает испытуемый. Так, при использовании метода группировки испытуемому предлагают разбить предъявляемый диапазон стимулов на ряд субъективно равноотстоящих града-

ций. Естественно, что в этом случае удобнее использовать интервальную шкалу. По-видимому, сравнивая величину тестового стимула с величинами минимального и максимального стандартов, испытуемый находит адекватную точку внутри собственного сенсорного континуума, которая соответствует положению данного стимула на шкале интенсивности. С другой стороны, когда испытуемый оценивает стимул по отношению к стандарту, наиболее вероятно использование шкалы отношений, так как в этом случае, по-видимому, механизм оценки сигнала принципиально иной. Тестовый стимул оценивается не по величине перепада яркости между стандартом и тестом (по величине интервала), а путем определения отношения величины тестового стимула к заданной величине стандарта. Наконец, в случае произвольного шкалирования испытуемый, вероятнее всего, использует тот и другой способ оценки при переходе от одного стимула к другому, так как в данном случае он может сравнивать, **во сколько раз** один из стимулов больше (или меньше) другого, и определять степень приращения (убывания) яркости по отношению к предыдущему стимулу, то есть **на сколько** один из стимулов больше (или меньше) другого. Возможно, именно этим и обусловлен промежуточный характер кривой субъективной оценки.

Необходимо отметить в связи с этим, что метод произвольного шкалирования имеет минимум ограничений для построения шкалы субъективной оценки. Поэтому вполне вероятно, что такая шкала наиболее адекватно отражает реальную связь между ощущением и стимулом. Достаточно напомнить, что большинство нейрофизиологических шкал имеют характер функции, промежуточной между логарифмической и степенной зависимостью (см. [7]).

В связи со всем сказанным следует отметить, что как шкала интервалов, так и шкала отношений предполагают оценку стимулов на логарифмической шкале их физических параметров. Это означает, что количественная оценка сигнала возможна лишь после того, как стимул претерпевает логарифмическое преобразование. Это предположение вполне согласуется с данными о том, что логарифмическое преобразование стимульного ряда имеет место уже на уровне рецепторов, а дальнейшая его трансформация осуществляется на том уровне, где формируется суждение о стимуле (возможно, «за пределами» собственно сенсорной системы). Можно предположить, что степень отклонения кривой субъективного шкалирования от первоначальной логарифмической зависимости отражает степень трансформации сигнала от его кодирования на уровне рецепторов до формирования субъективной оценки стимула.

Необходимо отметить, что классическая психофизика предполагает жесткую, однозначную взаимосвязь между силой сенсорного раздражителя и величиной субъективного ощущения.

Примером тому могут служить логарифмический закон Вебера—Фехнера и степенная функция Стивенса. Другими словами, сенсорная система с точки зрения классической психофизики рассматривается как своеобразный измерительный прибор с жестко фиксированной шкалой, «градуированной» в логарифмической или экспоненциальной прогрессии. Данные нашей работы дают основания предполагать, что эта измерительная шкала не является фиксированной; напротив, она весьма лабильна и способна к различным перестройкам в зависимости от субъективной установки испытуемого по поводу упорядочения того или иного стимульного ряда. Другими словами, физический континуум стимулов неоднозначно отражается в сенсорном континууме субъективных оценок. Более того, результаты наших исследований согласуются с предположением о том, что закон Вебера—Фехнера и закон Стивенса представляют собой частные случаи (возможно, асимптоты) более общего психофизического закона.

Выводы. 1. В опытах по субъективному шкалированию яркости светового стимула при использовании различных психофизических методов получено семейство кривых субъективной оценки, промежуточных между степенной и логарифмической функциями.

2. Предполагается, что различия между кривыми субъективного шкалирования яркости обусловлены различными способами оценки стимульного ряда.

3. Очевидно, форма кривой психофизической зависимости, описывающей взаимосвязь между стимулом и ощущением, не носит характера жесткой однозначной связи, а в значительной мере опосредуется инструкцией эксперимента, то есть определяется субъективной установкой испытуемого по поводу оценки сенсорного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Fechner G. T.** Elemente der Psychophysik. Leipzig, 1860.

2. **Holway A. H., Pratt C. C.** The Weber-ratio for intensitive discrimination.— Psychol. Rev., 1936, v. 43, N4, p. 322.

3. **Stevens S. S.** To honour Fechner and repeal his law.— Science, 1961, v. 133, N3446, p. 80.

4. **Stevens S. S., Galanter E. H.** Ratio scales and category scales for a dozen perceptual continua.— J. exp. Psychol., 1957, v. 54, N6, p. 377.

5. **Льюс Р., Галантер Е.** Психофизические шкалы.— В кн.: Психологические измерения. М., 1967, с. 111.

6. **Stevens S. S.** Problems and methods of psychophysics.— Psychol. Bull., 1958, v. 54, N2, p. 177.

7. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977, с. 288.

8. **Пьерон А.** Психофизика.— В кн.: Экспериментальная психология. Под ред. П. Фресс и Ж. Пиаже. М., 1966, с. 241.

9. **Stevens S. S.** On the psychophysical law.— Psychol. Rev., 1957, v. 64, N1, p. 153.

10. **Burkhardt D. A.** Brightness and increment thresholds.— J. Opt. Soc. Amer., 1966, v. 56, N7, p. 979.

11. **Глезер В. Д., Подвигин Н. Ф.** Световая чувствительность зрительной системы.— В кн.: Физиология сенсорных систем. Сер. Руководство по физиологии. Л., 1971, с. 200.

12. **Guilford J. P.** A generalizes psychophysical law.— Psychol. Rev., 1932, v. 39, N1, p. 73.

13. **Woodworth R. S.** Experimental psychology. N. Y., 1938.

14. **Helson H.** Adaptation level theory. N. Y., 1964.

15. **Geissler H. G.** Towards a new reconciliation of Stevens' and Helson's approaches to psychophysics. A tentative solution of Stevens — Greenbaum puzzle.— Acta psychol., 1975, v. 39, p. 417.

УДК 612.821.8

Н. Ф. ПЕТУХОВА, И. А. РЫБИН

О НЕКОТОРЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ ВОСПРИЯТИЯ ЗВУКА

В работе [1] было высказано предположение, что в основу теоретического объяснения психофизических зависимостей могут быть положены информационные принципы организации сенсорной деятельности. В качестве исходной посылки для информационной модели принята адекватность сенсорного восприятия физическому воздействию. На этом основании в рецепторном «образе» должны содержаться все возможные (в пределах разрешающей способности рецепции) сообщения об этом воздействии. Используя известное в теории информации выражение связи между объемом всех возможных сообщений, количеством сигналов, необходимых для передачи этого объема информации, и емкостью кода, удалось показать, что если переменной величиной при вариациях интенсивности стимулов является количество сигналов, то получается логарифмическая зависимость (аналог закона Вебера—Фехнера). Если же переменной величиной является емкость кода, связь интенсивности ощущения с физическим воздействием выражается степенной функцией (аналог закона Стивенса).

Гипотеза об информационной сущности психофизических соотношений приводит к следствиям, которые поддаются экспериментальной проверке. Так, анализ, проведенный в статье [1], привел к заключению, что изменение интенсивности ощущения, выводимое из едва различимых разностей, может быть представлено непрерывной кривой (в полулогарифмической шкале), но в ограниченном интервале изменений интенсивности раздражения. Другими словами, основание логарифма в законе Вебера—Фехнера остается постоянным только в ограниченной области физического континуума и является, вообще говоря, переменным, зависящим от выбора исследуемого диапазона интенсивностей стимула. В то же время степенная зависимость, получаемая методами субъективной оценки стимулов [2], является, как следует из этого анализа, дискретной. Это значит, что уменьшение интервалов между стимулами (Δ) имеет определенный предел, ниже которого субъективная количественная оценка становится невозможной. Это, в частности, было показано в работе [3] для оценки яркости светового пятна. Там же было установлено, что этот критический интервал намного превышает величину дифференциального порога различения, то есть субъективное шкалирование, описываемое степенной зави-

симостью Стивенса, становится невозможным там, где продолжает действовать логарифмическая зависимость и, более того, выполняется наиболее строго. Проверка этого факта для восприятия звука и установление наименьшего интервала ($\Delta_{кр}$) между оцениваемыми звуковыми стимулами являлись основными задачами нашей работы.

Другое следствие, вытекающее из анализа информационной модели [1],— утверждение, что показатель степени n в формуле Стивенса не является постоянным, а определенным образом варьирует на различных участках сенсорного континуума. Это было установлено для восприятия яркостей [3]. Второй задачей наших исследований было изучение зависимости величины n от выбора рабочего диапазона громкостей звука. Представляла интерес и проверка того факта, что минимальному значению n (то есть области наилучшей избирательности при оценке стимулов) соответствуют наименьшие дифференциальные пороги (то есть область наиболее высокой разрешающей способности [4]).

Методика. Экспериментальные процедуры психофизики предполагают установление количественной меры ощущения интенсивности физических раздражителей. В данной работе использовались дифференциальный порог $\Delta I/I$ и непосредственно числовая оценка громкости.

Для опытов использовался тонический звук частотой 1000 Гц, так как именно на этой частоте наблюдается максимальная чувствительность слуховой системы. Диапазон интенсивности воспринимаемых звуков на этой частоте достаточно широк. Звук испытуемому подавался бинаурально через телефоны от генератора звуковых частот ЗГ-10. Сила звука могла быть плавно регулируема специальным потенциометром, изменяющим напряжение на телефонах.

При измерении дифференциальных порогов использовался метод слежения [5, 6]. Испытуемому предъявляли звук определенной силы I в течение трех секунд. Затем, не выключая телефонов, производилось плавное увеличение или уменьшение напряжения, что приводило к усилению или ослаблению звука. Испытуемый должен был отметить изменение громкости словами «громче» или «тише». Дифференциальный порог определялся как отношение различимого прироста интенсивности звука ΔI к ее исходной величине. Кривые дифференциальных порогов снимались как в сторону повышения интенсивности, так и в сторону понижения. Для краткости дифференциальные пороги в первом случае обозначались индексом «в», а во втором — индексом «н».

В экспериментах приняло участие 48 человек в возрасте от 16 до 26 лет. Результаты обрабатывались статистически. В предварительной серии опытов выяснилось, что абсолютный порог восприятия звука у разных испытуемых весьма значи-

тельно варьирует. В этой связи все испытуемые были разделены на две подгруппы — А и Б, различающиеся по порогам в среднем в два раза. Это было сделано для получения более однородных выборок для последующих экспериментов.

При исследовании зависимости ощущения громкости от интенсивности звукового раздражения был использован метод прямой численной оценки, разработанный Стивенсом [2]. Суть его в том, что испытуемый должен был оценить громкость сигнала числом, пропорциональным численной оценке стандартного звука. Опыты проводились без предварительной тренировки. Испытуемому в течение пяти секунд предъявлялся стандартный стимул и сообщалась его численная оценка. Далее предъявлялась серия из случайным образом даваемых звуков, большей или меньшей интенсивности по отношению к стандарту. Время предъявления сигналов и паузы между ними подбирались индивидуально. Испытуемый должен был дать оценку звуков по десятибалльной шкале. Ответ «не знаю» не разрешался.

Были поставлены два варианта опытов.

1. Исследуемая область громкости от 30 до 90 дБ была разделена на три поддиапазона по 20 дБ. Интервал между стимулами (Δ) разбивался на 10 точек. Стандартный звук находился в середине этого ряда и оценивался в 5 баллов.

2. Для выяснения зависимости показателя степени n в степенной функции Стивенса от интервала между стимулами была проведена серия опытов с различной величиной Δ (см. табл.1).

Таблица 1

Схема серии опытов по определению зависимости показателя *n* от интервала между стимулами Δ

Опыт	Исследуемый диапазон дБ	Величина Δ, дБ	Число предъявляемых стимулов
1	20—85	15	5
2	30—70	10	5
3	35—75	5	10
4	50—70	2	10
5	60—70	1	10

За стандарт принимался сигнал с минимальной оценкой. В каждой серии участвовал 31 человек. Опыты проводились в одинаковой обстановке. Полученные данные обрабатывались методом наименьших квадратов [7], и находились уравнения линейной регрессии, аппроксимирующие опытные зависимости.

Результаты и обсуждение. Вначале рассмотрим результаты опытов по определению дифференциальных порогов. Данные представлены на рис. 1. Подгруппа А, характеризующаяся низким

звуковым порогом, в отличие от менее чувствительной подгруппы Б, обнаружила резкое изменение дифференциальных порогов при повышении силы звука. В то же время кривая зависимости при понижении силы звука изменялась несущественно (статистически недостоверно), так же, как и в подгруппе Б. Из

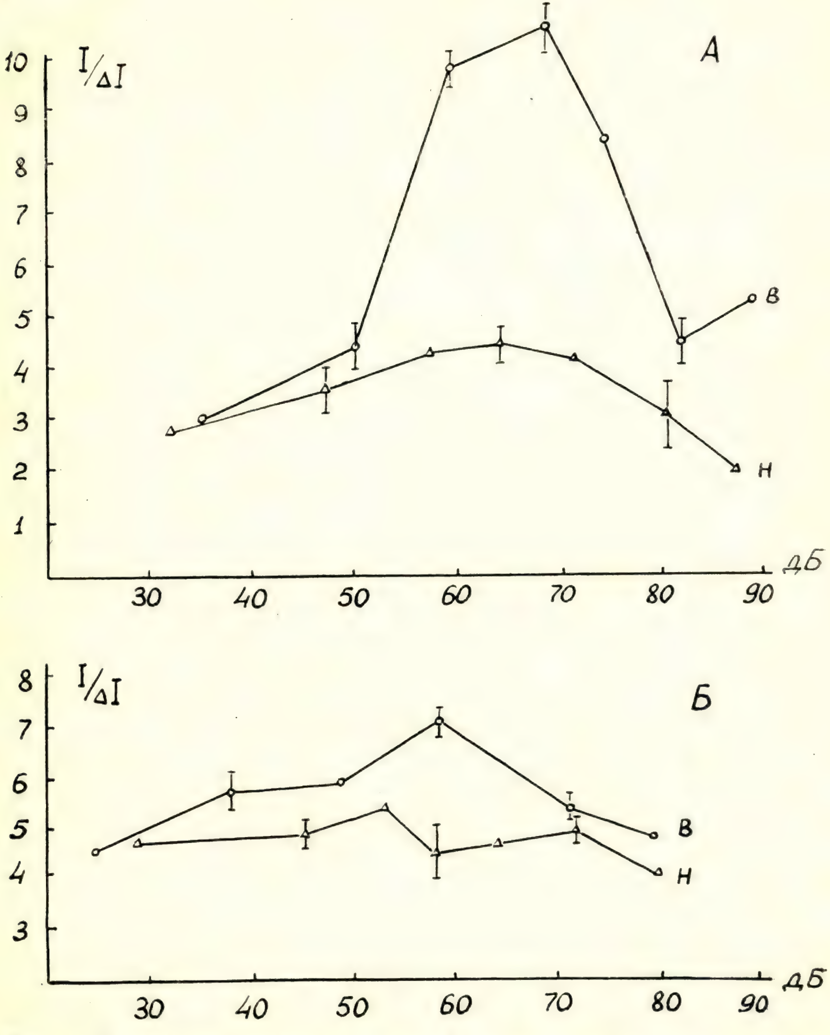


Рис. 1. Зависимость величины, обратной дифференциальным порогам, от силы звука

этих данных следует, что область минимальных дифференциальных порогов находится в районе 55—77 дБ. В подгруппе Б кривая «в» отличалась от кривой «н» незначительно, хотя и до-

стоверно. Вариации дифференциальных порогов в том и другом случае во всем исследованном диапазоне были также незначительны. Таким образом, только в подгруппе с наиболее тонким слухом были получены данные, аналогичные кривым дифференциальных порогов восприятия яркости [8].

В первом варианте опытов по субъективному шкалированию громкости тонального звука исследуемый диапазон был разбит на три поддиапазона по 20 дБ, в каждом из которых была получена психофизическая зависимость. Методом наименьших квадратов были найдены аппроксимирующие эту зависимость прямые в двойных логарифмических координатах (рис. 2) и вычислены соответствующие показатели n (табл. 2).

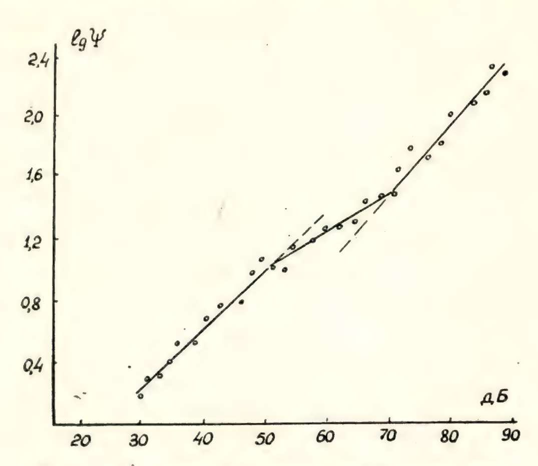


Рис. 2. Степенная зависимость между субъективной оценкой и силой звука в двойных логарифмических координатах. Точки — экспериментальные данные. Прямые — линии регрессии, найденные методом наименьших квадратов

Как было предположено в работе [1] и показано при шкалировании яркости [3], прямые, описывающие психофизическую зависимость в поддиапазонах, имели различные углы наклона, то есть различные показатели n. Статистический анализ этих различий показал их достоверность (табл. 2).

Таким образом, показатель степенной функции Стивенса, устанавливаемый в его работах постоянным для всего сенсорного континуума [9], по крайней мере для двух модальностей — яркости и громкости,— является лишь некоторым усредненным по всему континууму значением. На самом деле это варьирующая величина, достигающая минимальных значений в средней части диапазона (в нашем случае 50—70 дБ). Нетрудно видеть, что область минимальных n соответствует в наших опытах области наименьших дифференциальных порогов (см. рис. 1).

Этим подтверждается предположение [1], что логарифмическая и степенная зависимости отражают различные стороны сенсорной деятельности, а совпадение оптимальных областей действия этих закономерностей является указанием на наличие оптимума сразу же по всем параметрам сенсорного восприятия.

Таблица 2

Результаты исследований по шкалированию звука в зависимости от диапазона

Диапазон, дБ	Показатель степени n	Доверительный интервал для P=0,05	Достоверность различия
30—50	0,70	0,01	
			>0,99
50—70	0,60	0,01	
			>0,99
70—90	0,66	0,01	

Существование наименьшего критического интервала между стимулами, оцениваемыми методами субъективного шкалирования, проверялось в экспериментах с различными интервалами между стимулами в наиболее благоприятной для субъективной оценки области (см. табл. 2). Результаты этих опытов представлены на рис. 3 и в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследований по шкалированию звука в зависимости от интервалов между стимулами

Расстояние между стимулами, дБ	Показатель степени n	Доверительный интервал для P=0,05	Достоверность различия
1	0,74	0,07	
			недостоверно
2	0,68	0,05	
			>0,99
3	0,83	0,03	
			>0,99
10	0,94	0,01	
			недостоверно
15	0,90	0,03	

На рис. 3 показан график зависимости показателя степенной функции n от интервала между стимулами. Действительно, монотонно снижавшаяся в последовательности интервалов 10—5—2 дБ величина n при $\Delta=1$ дБ возрастает по сравнению с точкой 2 дБ, но статистически недостоверно. Эта недостовер-

ность проистекает, по-видимому, не из-за случайности превышения ординаты n при 1 дБ на n при 2 дБ, а вследствие возрастания среднеквадратичной ошибки при уменьшении межстимульного интервала. Это хорошо прослеживается в табл. 3, где дан доверительный интервал вариаций индивидуальных оценок. Видно, что этот интервал увеличивается в последовательности 10—5 —2—1 дБ. Это свидетельствует о том, что чем меньше интервалы между стимулами, тем с большей ошибкой они

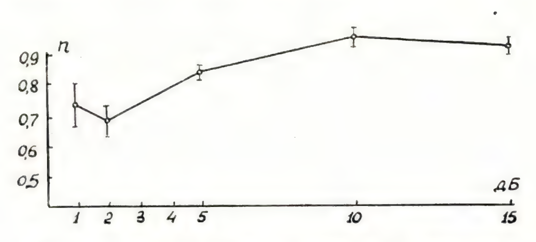


Рис. 3. Зависимость показателя степени в законе Стивенса от расстояния между стимулами. Вертикальными черточками показаны доверительные интервалы вариации показателя

оценивались испытуемыми. Экстремальная точка (минимум n) лежит, вероятней всего, в промежутке от 1 до 2 дБ. К сожалению, использованный нами звуковой генератор не позволял надежно дозировать интервалы между стимулами менее 1 дБ. Однако можно ожидать, что показатель степени n должен снова несколько увеличиться, а ошибка в оценке стимулов резко возрасти.

Если уменьшение межстимульных интервалов позволяет установить нижнюю границу эффективной оценки стимулов (позволяющую, кстати, сомневаться в корректности интерполяции степенной функции непрерывной кривой внутри интервала в 1 дБ), то увеличение этих интервалов свидетельствует о существовании и верхнего предела действия закона Стивенса. Как видно из графика на рис. 3, кривая зависимости n(Δ) насыщается в среднем на уровне 0,90 (различия n для точек 10 и 15 дБ статистически недостоверны). Легко видеть, что при увеличении межстимульных интервалов должен наступить момент, когда испытуемый будет давать безошибочную оценку каждого стимула. Величина n должна достигать в этом случае единицы. То, что в наших опытах эта величина составляет 0,90, объясняется отсутствием у испытуемых предварительной тренировки. Это было подтверждено на отдельных испытуемых, которые после 2—3 повторений опыта давали безошибочные ответы. Отсюда, кстати, следует, что тренировка может существенно сдвигать влево (по шкале интервалов) как верхнюю границу изменений n, так и нижнюю. С одной стороны, это требует воспринимать по-

лученные нами данные границ интервалов как в значительной степени условные (отсутствие тренировки), а с другой стороны, указывает на возможность использования этих показателей для практических целей. Если интервал насыщения и минимальный интервал для $\Delta_{кр}$ обусловлены степенью тренированности испытуемого, то это можно было бы использовать в качестве теста на профессиональную тренированность в тех видах деятельности, в которых требуется высокая эффективность субъективной оценки какого-либо воздействия на органы чувств (например, при дегустации). При заданных условиях шкалирования (определенное число стимулов, величина межимпульсных интервалов) при многократных повторениях эксперимента испытуемый может научиться оценивать стимулы безошибочно. Это должно привести к максимальному n в пределе, равному единице, что накладывает еще одно ограничение на действие закона Стивенса: необходимость отсутствия фактора тренировки. Это нетрудно сделать для каждого конкретного эксперимента (число способов разбиения исследуемого диапазона и число стимулов, порядок их предъявления можно варьировать как угодно). Но предшествующий опыт испытуемого, несомненно, должен существенно влиять на точность субъективной оценки и на ее «глубину» (величину критического интервала $\Delta_{кр}$).

Возникают вопросы: в какой мере степенная зависимость отражает собственно деятельность сенсорных систем и интенсивность ощущения как некоторого первичного психического акта и в какой мере субъективное шкалирование стимулов является результатом приобретенного опыта? Вопросы эти, насколько нам известно, в литературе, посвященной психофизике, специально не исследовались.

Выводы. 1. Итак, внутри критических интервалов $\Delta_{кр}$ утрачивается способность сенсорной системы к адекватной оценке стимулов, но сохраняется способность к их различению, то есть закон Вебера — Фехнера остается в силе, что дает ответ на первую из поставленных в начале статьи задач. С учетом только что проведенного обсуждения границы действия степенной и логарифмической зависимостей в шкале интервалов между стимулами можно представить схемой, изображенной на рис. 4.

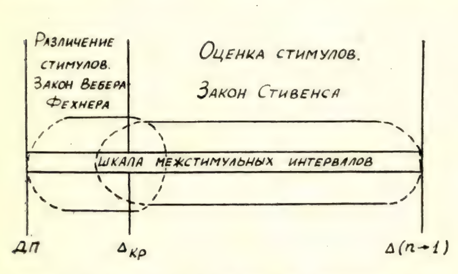


Рис. 4. Границы действия законов Вебера — Фехнера и Стивенса в шкале межстимульных интервалов

2. Так же, как и при оценке яркости [3], показатель степени n в законе Стивенса не является постоянной величиной во всем диапазоне воспринимаемых стимулов. Наименьших значе-

ний n достигает в средней части диапазона громкостей (50—70 дБ).

3. Область минимальных n совпадает с областью наименьших дифференциальных порогов различения, подтверждая тем самым существование оптимальной области сенсорного восприятия, в которой различение и оценка стимулов осуществляются наилучшим образом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рыбин И. А.** Некоторые теоретические вопросы сенсорного восприятия.— В наст. сб., с. 3.
2. **Stevens S. S.** The psychophysics of sensory function.— In: Sensory communication. Cambridge M. I. T. Press., 1961, p. 1.
3. **Рыбин И. А., Сергеева А. Н., Муромцева Г. А.** О некоторых особенностях субъективных шкал яркости.— Физиол. человека, 1980, т. 6, с. 451.
4. **Кейдель В. Д.** Физиология органов чувств. М., 1975, с. 30.
5. **Бардин К. В.** Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М., 1976, с. 69.
6. **Ярмицкий Ю. Д.** Проблемы измерения и психофизические методы.— Вопр. психологии, 1977, № 3, с. 115.
7. **Cross D. V.** Some technical notes on psychophysical scaling.— In: Sensation and Measurement. Dordrecht—Boston, 1974, p. 23.
8. **Ranke O. F.** Sinneorgane.— In: Handbuch der gesamten Arbeitmedizin. München—Berlin, 1961, Bd. 1.
9. **Stevens S. S.** On the validity of the loudness scale.— J. Acoust. Soc. Amer., 1959, v. 31, p. 995.

УДК 612.821

Л. И. ПРИХОДКИНА

О ВОЗМОЖНОСТИ УСРЕДНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО СУБЪЕКТИВНОЙ ОЦЕНКЕ СЕНСОРНОГО СТИМУЛА

Проблема индивидуальных различий в субъективной оценке сенсорного стимула у различных испытуемых давно является предметом дискуссий среди психофизиков. По мнению разных авторов, различия индивидуальных данных могут быть обусловлены разнообразными факторами: 1) критериями оценки [1, 2]; 2) статистическим разбросом данных [3, 4]; 3) особенностями восприятия у разных испытуемых [5]; 4) числом повторных предъявлений одного и того же стимула за серию [6] и 5) «эффектом регрессии», что касается, в первую очередь, использования метода кросс-модального подбора [7]. Стивенс [7] указывает на тот факт, что при использовании «баланса регрессии» индивидуальные различия испытуемых сглаживаются. В то же время Доусон [8] отмечает, что четкие индивидуальные различия выявляются и после компенсации регрессии.

В связи с изложенным представляет значительный интерес вопрос о возможности усреднения индивидуальных данных в психофизических исследованиях. С точки зрения вариационной статистики, для того чтобы выбрать тот или иной критерий усреднения, необходимо знать характер распределения индивидуальных оценок большой группы испытуемых. В то же время работ, касающихся данного вопроса, в доступной нам литературе не обнаружено. В связи с этим в настоящей работе исследовался характер распределения и возможность усреднения индивидуальных оценок громкости тонального звука.

Методика. В эксперименте принимали участие испытуемые в количестве 100 человек — студенты дневного и заочного отделений биологического факультета УрГУ в возрасте от 18 до 30 лет. В подавляющем большинстве испытуемые были нетренированными, то есть ранее в психофизических исследованиях не участвовали. В нашем эксперименте каждый из испытуемых принимал участие лишь один раз.

Задача испытуемых состояла в субъективной оценке громкости тонального звука частотой 1000 Гц в диапазоне интенсивности, соответствующем 3 лог. ед. (от 20 до 80 дБ над уровнем абсолютного порога). Серия состояла из 7 звуковых сигналов, интенсивность которых менялась в строго определенном порядке: 40, 20, 50, 30, 60, 80 и 70 дБ. Продолжительность каждого сигнала соответствовала 5 сек., интервалы между стимулами были

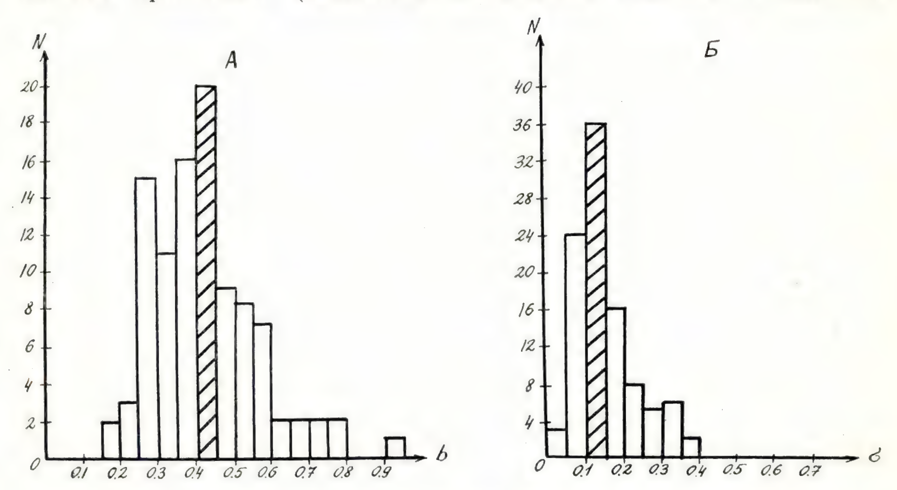
одинаковыми и также составляли 5 сек. В качестве стимулятора использовался звукогенератор ЗГ-10 с головными телефонами.

Перед началом опыта испытуемым предлагалось ознакомиться с инструкцией, которая заключалась в следующем: «Вам будет дважды предъявлен ряд звуковых сигналов различной громкости. Во время первого предъявления Вы должны внимательно их прослушать, во время второго — количественно оценить громкость этих звуков. Допускаются оценки любыми целыми или дробными положительными числами, отличными от нуля, при одном непременном условии — величина оценки должна быть строго пропорциональна воспринимаемой громкости».

Инструкция предъявлялась испытуемому в письменном виде; в случае возникновения вопросов со стороны испытуемого экспериментатор давал необходимые разъяснения.

Обработка полученного материала заключалась в следующем: кривые субъективной оценки громкости аппроксимировались степенной функцией по Стивенсу; параметры этой функции — величина показателя степени (b) и ошибка регрессии (σ) вычислялись методом наименьших квадратов с линейным уравнением регрессии в двойных логарифмических координатах.

Результаты опытов и их обсуждение. На основании вычисленных параметров индивидуальных функций субъективной оценки громкости (величины показателя степени и ошибки



Гистограммы распределения параметров индивидуальных функций субъективной оценки звукового стимула. *А* — величина показателя степени; *Б* — величина ошибки регрессии функции Стивенса

регрессии) для каждого из 100 испытуемых были построены гистограммы распределения этих величин (рисунок). Можно видеть, что как для показателя степени (рисунок, А), так и для величины ошибки регрессии (рисунок, Б) они имеют вид асим-

метричного одновершинного распределения. Диапазон значений показателя степени относительно велик — от 0,15 до 0,95 с центральной тенденцией, соответствующей значениям 0,41—0,45 (для гистограммы с «шагом» в 0,05), а для ошибки регрессии значения укладываются в пределах от 0 до 0,40 с экстремумом 0,10—0,15.

Следующим этапом работы была попытка нахождения оптимальных критериев усреднения индивидуальных данных. Усреднение проводилось двумя различными методами: 1) по параметрам индивидуальных функций субъективных оценок (экспонента и ошибка регрессии) и 2) по индивидуальным оценкам звуковых сигналов, усредненных по всем испытуемым. Как в первом, так и во втором случае усреднение проводилось 4 разными способами: по моде, медиане, среднему арифметическому и среднему геометрическому значениям. Полученные данные приведены в таблице.

Значения параметров степечной функции Стивенса, вычисленных различными методами усреднения индивидуальных данных

Метод усреднения	Показатель	b	σ
По параметрам индивидуальных функций субъективной оценки стимула	мода	0,38	0,14
	медиана	0,43	0,17
	среднее арифмет.	0,43	0,16
	среднее геометрическое	0,41	0,14
По индивидуальным оценкам стимула	мода	0,36	0,10
	медиана	0,36	0,10
	среднее арифмет.	0,43	0,13
	среднее геометрическое	0,43	0,07

Из таблицы видно, что независимо от способа усреднения полученные значения b и σ хорошо согласуются друг с другом. По-видимому, при усреднении по параметрам индивидуальных функций предпочтительнее пользоваться средним арифметическим, средним геометрическим и медианой, в то время как усреднение по моде дает заниженные значения по сравнению с центральной тенденцией величины экспоненты. В то же время при усреднении по индивидуальным оценкам хорошо сопоставимые результаты дает только усреднение по среднему геометрическому и среднему арифметическому значениям, тогда как усреднение по моде и медиане не отражает центральной тенденции. Кроме того, следует отметить, что усреднение по среднему геометрическому дает заниженное значение ошибки регрессии,

т. е. функция субъективной оценки, полученная таким способом, обнаруживает наибольшее приближение к степенной функции Стивенса.

Выводы. 1. При исследовании индивидуальных функций субъективной оценки звукового стимула у 100 испытуемых для показателя степени и ошибки регрессии функции Стивенса получено асимметричное одновершинное распределение.

2. Представляется возможным усреднять данные психофизического эксперимента, полученные на большом числе испытуемых, различными способами, причем наиболее достоверные данные дает усреднение по среднему арифметическому и среднему геометрическому значениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Stevens J. C., Guirao M.** Individual loudness functions.— J. Acoust. Soc. Amer., 1964, v. 36, N11, p. 2210.
2. **Marks L. E., Stevens J. C.** Individual brightness functions.— Percept. a. Psychophys., 1966, v. 1, N1, p. 17.
3. **Rule S.** Subject differences in exponents of psychophysical power functions.— Percept. a. Motor Skills, 1966, v. 23, p. 1125.
4. **Rule S., Markley R. P.** Subject differences in cross-modality matching.— Percept. a. Psychophys., 1971, v. 9, N1, p. 115.
5. **Ekman C., Hosman B., Lindman R., Ljungberg L., Akesson C.** Inter-individual differencies in scaling performance.— Percept. a. Motor Skills, 1968, v. 26, p. 815.
6. **Teghtsoonian M., Teghtsoonian R.** How repeatable are Stevens' power law exponents for individual subjects.— Percept. a., Psychophys., 1971, v. 10, N1, p. 147.
7. **Stevens S. S.** Issues in psychophysical measurement.— Psychol. Rev., 1971, v. 78, N6, p. 426.
8. **Dawson W. E.** An assessment of ratio scales of opinion produced by sensory-modality matching.— In: Sensation and Measurement. Dordrecht— Boston, 1974, p. 49.

УДК 612.821.8

А. Н. СЕРГЕЕВА, И. А. ДАНИЛЕНКО

ВЛИЯНИЕ ПОРЯДКА ПРЕДЪЯВЛЕНИЯ СВЕТОВЫХ СТИМУЛОВ НА ВЕЛИЧИНУ ЭКСПОНЕНТЫ СТИВЕНСА

Известно, что Стивенс [1] приводит несколько причин для объяснения вариабельности данных в экспериментах по прямому шкалированию: а) различие в восприятии стандарта испытуемым; б) различие в субъективном восприятии отношения интенсивностей; в) различные функциональные характеристики функционирующего органа. Эти причины определяют особенности восприятия сенсорными системами той или иной модальности, иными словами, характер отображения пространства физических воздействий в пространство ощущений.

Ряд возражений против общности степенного закона Стивенса связан с тем, что на вид психофизической зависимости влияют экспериментальные условия (изменение диапазона стимулов, положение стандартного сигнала и его числовая оценка и др.). Как отмечает Гайсслер [2], зависимость эмпирических показателей степени от соответствующих условий эксперимента станет в дальнейшем одной из ключевых проблем одномерного шкалирования.

На зависимость эмпирических показателей степени от соответствующих условий эксперимента указывают многие авторы. Поултон [3] рассматривает влияние шести факторов организации эксперимента на форму психофизической шкалы. Наклон шкалы зависит от диапазона стимулов. Форма шкалы искажается вблизи абсолютного порога. Графическое изображение шкалы зависит от положения стандартного или эталонного стимула, по отношению к которому делается оценка. Величина оценки первого сравниваемого стимула зависит от его расстояния от стандарта — когда диапазон стимулов полностью неизвестен испытуемому. Вид шкалы зависит от диапазона используемых чисел — конечного или неограниченного. Изменение величины модуля, то есть числа, приписываемого стандарту, приводит к изменению шкалы.

Отмечено существенное влияние плотности стимульного диапазона: на вид получающейся шкалы влияет число и характер размещения стимулов в заданном диапазоне [4]. Форма психофизической шкалы зависит от числа категорий оценки. Смена характера допустимых ответов — числовых на качественные (вербальные) дает также несовпадающие кривые, изменение инструкции ведет к изменениям в форме шкалы [5].

Показано, что изменение диапазона раздражений мало изменяет наклон, зато существенно сдвигает полученную шкалу оценок [5]. По данным Тетсуняна [2], для разных модальностей изменение наклона с изменением диапазона применяющихся сигналов выражено в неодинаковой степени; для громкости оно сильнее, а для видимой длины и видимого расстояния оно незначительно, но имеет место; показана зависимость получаемой психофизической шкалы от направления движения стимулов [6].

Целью данной работы явилось исследование зависимости субъективных оценок от порядка предъявления стимулов.

Методика. Шкалирование световых стимулов различной яркости проводилось методом прямой численной оценки по Стивенсу. В наблюдениях участвовали лица обоего пола в возрасте 18—23 лет. Опыты проводились в вечернее время в условиях затемненной камеры с пятиминутной адаптацией. Наблюдение было бинокулярным. Угловой размер светового пятна составлял 5 градусов.

Использовался белый свет интенсивностью от 100 до 1000 лк, то есть область, наиболее благоприятная для восприятия [7]. Перед началом наблюдения испытуемых знакомили с набором возможных раздражителей. Предлагался эталонный (стандартный) стимул, наибольший по интенсивности, оцененный в 100 баллов. Несколько других стимулов испытуемый должен был оценить по стобалльной шкале и сказать оценки вслух экспериментатору, который сообщал истинные баллы. После такой тренировки приступали собственно к шкалированию.

Физический континуум интенсивности был представлен шестью градациями стимулов, яркость которых нарастала в геометрической прогрессии (1—147 лк, 2—212 лк, 3—317 лк, 4—464 лк, 5—682 лк, 6—1000 лк). Предьявление стимулов осуществлялось в случайном порядке.

Было проведено 2 серии исследований. Перед каждой серией в течение 30 сек. предъявлялся стандарт яркости, принимаемый за 100 баллов. Все последующие стимулы испытуемому предлагалось оценивать в баллах от 1 до 100. В первой серии стандартный стимул применялся лишь в начале исследования, а далее следовали в случайном порядке все остальные. Было взято 12 возможных вариантов. Величина показателя n степенной функции варьировала в зависимости от порядка предъявления стимулов:

2—5—1—3—4 . . .	$0,35 \pm 0,03$	4—3—1—5—2 . . .	$0,50 \pm 0,04$
4—1—5—3—2 . . .	$0,38 \pm 0,02$	4—5—1—2—3 . . .	$0,51 \pm 0,05$
1—5—2—4—3 . . .	$0,47 \pm 0,01$	5—4—1—2—3 . . .	$0,57 \pm 0,03$
5—4—3—2—1 . . .	$0,48 \pm 0,02$	3—1—5—2—4 . . .	$0,57 \pm 0,03$
4—2—5—1—3 . . .	$0,49 \pm 0,004$	2—1—3—5—4 . . .	$0,58 \pm 0,005$
1—5—4—2—3 . . .	$0,49 \pm 0,02$	1—2—3—4—5 . . .	$0,62 \pm 0,05$

Во второй серии стандартный стимул предъявлялся не только вначале, но и в ряду стимулов. Таких вариантов было приме-

нено 6. Величина показателя n степенной функции варьировала в зависимости от порядка предъявления стимулов:

5—3—6—1—4—2 . . .	0,49±0,13	2—4—1—6—3—5 . . .	0,53±0,20
5—6—1—3—2—4 . . .	0,51±0,14	1—2—3—4—5—6 . . .	0,54±0,18
5—4—3—2—1—6 . . .	0,53±0,08	4—2—3—1—6—5 . . .	0,56±0,12

Каждый вариант предъявления стимулов оценивался десятью испытуемыми. Математическая обработка данных проведена методом наименьших квадратов [8].

Результаты и обсуждение. Отметим, чем различаются данные опытов первой и второй серии. Во второй серии опытов показатель степени n варьирует в зависимости от порядка предъявления стимулов незначительно (от 0,49 до 0,56), но разброс отдельных оценок и соответственно доверительные пределы для n оказались значительными (максимальный доверительный интервал 0,20). Напротив, в первой серии диапазон значений n оказался широким (от 0,35 до 0,62), а доверительные интервалы — узкими (наибольший 0,05). Вторая серия опытов отличалась от первой лишь тем, что стандартный стимул (наибольший) предъявлялся не только в начале, но и в процессе эксперимента. Поэтому число оцениваемых стимулов во второй серии было на один больше, чем в первой. Могло ли это быть причиной столь существенного различия в результатах? По-видимому, да, так как все остальные условия эксперимента в обеих сериях были одинаковыми. Значительно труднее ответить на вопрос, почему это так. В этой связи следует отметить два обстоятельства. Во-первых, в первой серии опытов число возможных комбинаций последовательности стимулов составляло 5!=120, тогда как во второй серии — 6!=720. Поэтому для равной репрезентативности число использованных комбинаций во второй серии должно быть соответственно больше, чем в первой, тогда как на самом деле их было в два раза меньше. Во-вторых, дополнительным стимулом во второй серии был тот, который являлся стандартным, и это могло быть фактором, способствующим более адекватной оценке предъявляемых стимулов. Возможно, что, если бы в качестве добавочного был использован не стандартный, а какой-либо другой стимул, разброс величины n был бы более значительным. Ясность в этом отношении должны внести дальнейшие эксперименты.

В результатах первой серии опытов можно выделить три группы показателей n, между которыми существуют статистически достоверные различия: 0,35÷0,38; 0,47÷0,51 и 0,57÷0,62. К сожалению, анализ последовательностей стимулов, вошедших в эти группы, не обнаружил каких-либо закономерностей. Можно предполагать одну из трех возможностей: 1) либо такое разбиение на группы случайно (хотя это и маловероятно), и тогда следует продолжить изучение различных комбинаций этих последовательностей, 2) либо причина подобной диффе-

ренциации не в комбинаторике предъявляемых стимулов, а в чем-то другом, сопутствующем эксперименту (например, неоднородность выборки испытуемых по их способности к субъективной оценке яркости), 3) либо действительно имеются комбинации «удобные» для оценки и «неудобные», но причина такого «удобства» или «неудобства» ускользнула от нашего внимания. В последнем случае следует также продолжить изучение различных комбинаций последовательностей стимулов.

Таким образом, проведенное изучение показателя степени психофизической зависимости субъективной оценки яркости от порядка предъявления стимулов указывает на существование трех различных групп зависимостей (по величине n). Однако для установления причины этого разделения необходимы дальнейшие исследования, так же как и для выяснения различия результатов первой и второй серии опытов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Stevens S. S.** The psychophysics of sensory function.— In: Sensory Communication. N. Y., 1961.
2. **Гайсслер X. Г.** Системный подход к решению проблем психофизики.— В кн.: Психофизические исследования. М., 1977, с. 7.
3. **Poulton E. C.** The new psychophysics six models for magnitude estimation.— Psychol. Bull., 1968, v. 69, N1, p. 1.
4. **Люс Р., Галантер Е.** Психофизические шкалы.— В кн.: Психологические измерения. М., 1967.
5. **Забродин Ю. М., Лебедев А. Н.** Психофизиология и психофизика. М., 1977.
6. **Stevens S. S.** On the psychophysical law.— Psychol. Rev., 1957, v. 64.
7. **Кейдель В. Д.** Физиология органов чувств. М., 1975.
8. **Cross D. V.** Some technical notes on psychophysical scaling.— In: Sensation and Measurement. Dordrecht—Boston, 1974, p. 23.

7 Заказ 157

УДК 615.838.7

С. И. СЕРОВ, В. И. НИКОЛАЕВ,
С. Ю. ТЕРЕШИН, Л. Б. ДАЦУН, Н. А. ВОЛКОВА

РЕФЛЕКТОРНОЕ КОЖНО-КАРДИАЛЬНОЕ И МОТОРНО-КАРДИАЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ САПРОПЕЛЯ И ЕГО КОМПОНЕНТОВ

Механизм действия сапропеля принадлежит к числу трудных вопросов современной бальнеологии. Его разработка упирается в чрезвычайную сложность как состава грязи, так и физиологической реакции организма.

К биологически активным компонентам сапропеля относят из органического ряда гуминовые вещества с их аминокислотным набором, битуминоиды, летучие жирные кислоты, гормоноподобные вещества, витамины и т. д.; из минеральных компонентов — макро- и микроэлементы, в частности металлы: кальций, железо, марганец, медь, цинк, никель, кобальт и др.

Специфическое действие сапропеля на организм является комбинированным многофакторным эффектом, включающим рефлекторные и гуморальные реакции. Задаче раздельного изучения этих реакций пока не уделялось достаточного внимания, что препятствует выяснению механизма действия грязи и рационализации ее лечебного применения. С другой стороны, успехи физико-химического анализа компонентного состава сапропеля не вылились еще в систематическое изучение отдельных компонентов в качестве специфических физиологических стимулов.

Солдатенков и Смирнова [1], Узбеков [2], Верещагина [3] изучали влияние на кровообращение нативной грязи и ее жидкой части, не прибегая к фракционированию. Румынские авторы Агирбичану, Зирра и другие [4] также применяли в эксперименте грязь и грязевые экстракты со всем комплексом действующих веществ. Шинкаренко [5, 6] была выявлена антибактериальная и противовоспалительная активность липидной фракции лечебных грязей. Ткаченко [7], удалив из грязевого экстракта кальций, доказал его роль в наблюдаемом кардиотропном эффекте, хотя в опытах на изолированном сердце исключались рефлекторные влияния, а в опытах на интактных животных не были разделены рефлекторные и гуморальные реакции. Обобщая литературные и собственные материалы, Динкулеску [8] говорил об изменении методики грязелечения по линии большего использования химического фактора пелоидов, а Беленький [9] отмечал принципиальную возможность усилить действие грязевых процедур за счет обогащения грязи гуминовыми кислотами.

Задача настоящего исследования состояла в сравнительной характеристике различных химических компонентов (фракций) сапропеля озера Молтаево по их рефлекторному влиянию на сердце с рецепторов кожи и скелетных мышц. Совершенно неосвещенный в литературе вопрос о моторно-кардиальном влиянии сапропеля вытекал из возможности прямого воздействия его компонентов, проникающих через кожу, на проприорецепторы и из общеизвестного факта теснейшей функциональной связи скелетной мускулатуры с сердцем.

Методика. В острых опытах на 62 травяных лягушках проделано около 500 проб. Через канюлю и водно-воздушный манометр на ленте кимографа регистрировалось кровяное давление в левой дуге аорты. Химические раздражители наносились на кожу или на поверхность икроножной мышцы на фильтровальной бумажке 7×7 мм на 30 сек. В контрольных опытах в качестве раздражителя применяли раствор Рингера. В части опытов с целью исключения резорбтивных эффектов конечность изолировалась хирургическим путем так, что связь ее с организмом сохранялась только через седалищный нерв.

Были испытаны нативная грязь, грязевой раствор и растворы из разных ее слоев, а также фракции различных компонентов сапропеля. В органических фракциях были представлены гуминовые и гормоноподобные вещества, спирторастворимые смолы, кислые и нейтральные битуминоиды, фульвокислоты; в искусственно приготовленных на растворе Рингера фракциях приближенно имитировался характерный для грязи состав аминокислот и состав микроэлементов-металлов с добавлением макроэлемента — железа. В смесь аминокислот входили лизин, триптофан, валин, лейцин и метионин по 200 мкг в 1 мл; в смесь микроэлементов — марганец, медь, кобальт, никель и цинк по 5 мкг в 1 мл, в той же концентрации добавлялось железо.

Результаты исследований и обсуждение. Типичным результатом нанесения грязи и грязевого раствора на поверхность кожи или мышцы была рефлекторная симпатическая реакция сердца, выражавшаяся повышением кровяного давления в левой дуге аорты. Реакция проявлялась сразу или в пределах времени действия раздражителя, но иногда она имела характер последействия, обнаруживалась после прекращения раздражения (рис. 1, а, б, в). Лишь в единичных случаях раздражение вызывало вагусное торможение сердца или переходный симпатико-ваготонический эффект. Применение в качестве раздражителя раствора Рингера не меняло заметно кровяного давления в аорте.

Кратковременность латентного периода реакции и тем более ее сохранение при хирургической изоляции конечности, остающейся в связи с организмом только через седалищный нерв, указывает на рефлекторную природу эффекта, практически исключая участие гуморальных механизмов. Относительная специ-

фичность этой симпатической реакции сердца видна из того, что некоторые иные по химической природе раздражители, в частности этиловый спирт, в аналогичных условиях опыта вызывали, как это уже было описано в литературе [10—12], вагусное торможение сердца с падением кровяного давления в аорте.

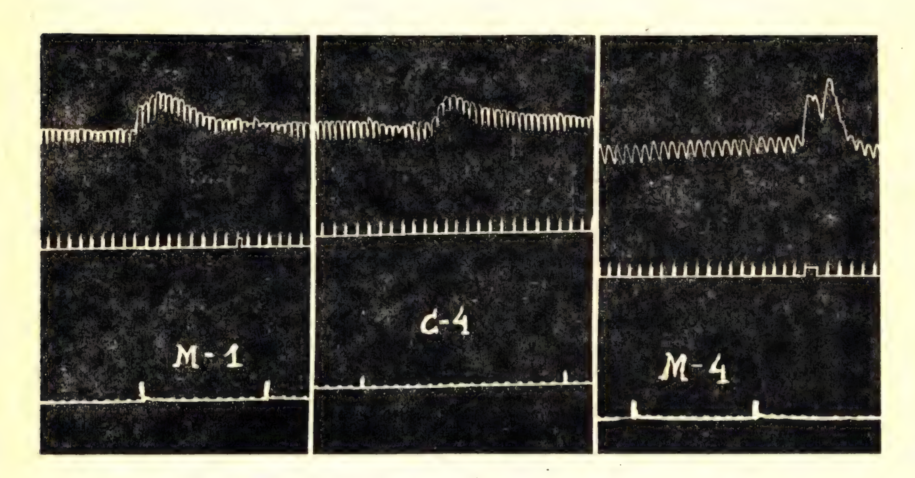


Рис. 1. Рефлекторные изменения кровяного давления в левой дуге аорты лягушки при нанесении сапропеля и грязевого раствора на кожу голени и поверхность икроножной мышцы. Сверху вниз: запись кровяного давления; отметка времени — 2 сек.; отметка действия раздражителя — грязевого раствора на мышцу, нативного сапропеля на кожу и на мышцу

Раздельное испытание различных фракций сапропеля показало, что рефлекторная реакция сердца почти всегда сохраняет характер симпатического эффекта. По интенсивности реакции фракции мало различались между собой, не считая того, что наиболее сильный эффект, часто развивавшийся как последействие, давала фракция гуминовых и гормоноподобных соединений. Масляные фракции, содержащие смолы, кислые и нейтральные битуминоиды, а также фракция фульвокислот активности, как правило, не проявляли (рис. 2).

Одним из главных показателей активности фракций в данных исследованиях можно считать сравнительную частоту возникновения рефлекторной симпатической реакции сердца. Соответствующие фактические материалы приведены в таблице.

С наибольшим постоянством вызывали рефлекторную реакцию сердца нативная грязь и ее водорастворимая фракция (65 и 58 % от общего количества проб соответственно), фракция гуминовых и гормоноподобных соединений, аминокислоты и микроэлементы-металлы (в 60, 65 и 64 % проб). Очевидно, именно с этими компонентами связана в первую очередь специфическая физиологическая активность сапропеля.

Испытание аминокислотной фракции показало, что по частоте вызываемой реакции наиболее активен комплекс, содержащий все пять присутствующих в грязи аминокислот: лизин, триптофан, валин, лейцин, метионин. При последовательном исключении отдельных компонентов из состава комплекса его активность снижается и становится минимальной — эффект в 29 %

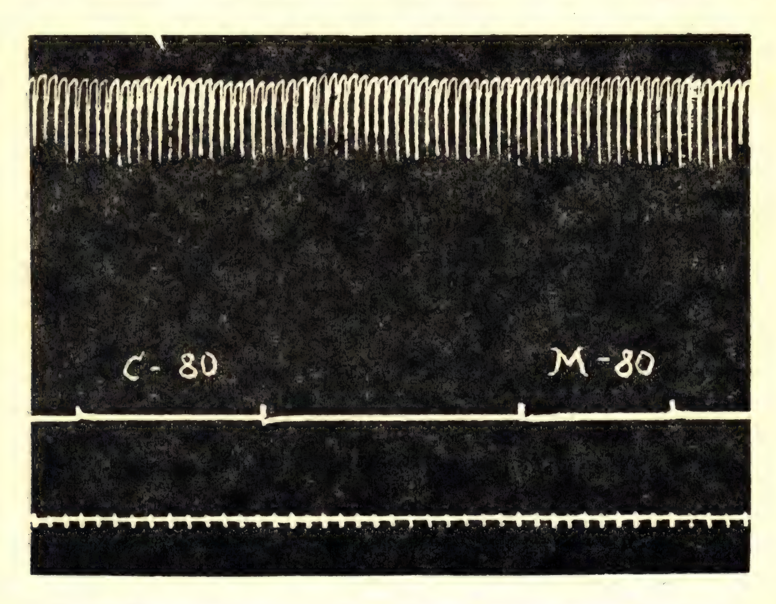


Рис. 2. Кровяное давление в левой дуге аорты лягушки при нанесении фракции фульвокислот на кожу голени (С-80) и поверхность икроножной мышцы (М-80)

проб, когда единственным действующим компонентом остается метионин. Однако исключение из смеси валина не влияло существенно на частоту возникновения реакции, что ставит под сомнение его роль в данном эффекте.

Обсуждение результатов исследования должно касаться прежде всего симпатического характера рефлекторной реакции сердца, вызываемой сапропелем и его фракциями через кожные и мышечные рецепторы. Этот твердо установленный факт позволяет рассматривать рефлекторное действие грязи в плане нейротрофической регуляции, являющейся важнейшей функцией симпатикуса.

Слабая активность фульвокислот, смол, кислых и нейтральных битуминоидов в отношении к рецепторам кожи и мышцы дает основание полагать, что включение рефлекторных механизмов грязелечения может происходить без их участия. Однако роль этих компонентов в гуморальных реакциях требует специального изучения.

Описанное Солдатенковым и Смирновой [1] и Ткаченко [7] прямое действие жидкой фракции молтаевского сапропеля на изолированное сердце лягушки и кролика отличалось принципиальным сходством с симпатическим эффектом и объяснялось

Сравнительная частота рефлекторной симпатической реакции сердца на раздражение кожных и мышечных рецепторов сапропелем и его фракционными компонентами

Вариант опыта	Сапропель и его фракционные компоненты											
			Фракции грязи				Аминокислоты					
	нативная грязь	грязевой раствор	водорастворимая	гуминовые вещества	смолы, битуминоиды	фульвокислоты	лиз, три, вал, лей, мет	три, вал, лей, мет	вал, лей, мет	лей, мет	мет	металлы: Mn, Cu, Co, Ni, Zn, Fe
Кожа												
проба	—	24	7	15	9	16	8	9	8	8	7	10
реакция	—	12	4	10	1	3	5	4	2	4	1	6
Мышцы												
проба	—	30	5	15	9	17	9	9	8	7	7	15
реакция	—	13	3	8	1	1	6	5	4	2	3	10

Примечание. В таблице приняты следующие сокращения: лиз — лизин, три — триптофан, вал — валин, лей — лейцин, мет — метионин. Фракция гуминовых веществ включала гармоноподобные соединения.

авторами специфическим активирующим влиянием кальция на аденилтрифосфатазу. Можно полагать, что рефлекторное — через кожные и мышечные рецепторы — и прямое, связанное с резорбцией, влияние сапропеля на сердце оказывается одинаково направленным и дополняет одно другое.

Выводы. 1. Сапропель озера Молтаево и многие его компоненты способны вызывать рефлекторную симпатическую реакцию сердца, действуя через кожные и мышечные рецепторы.

2. С наибольшим постоянством вызывают реакцию нативная грязь и ее водорастворимая фракция, а также компоненты: гуминовые и гормоноподобные соединения, микроэлементы-металлы и аминокислоты, проявляя таким образом относительно высокую физиологическую активность.

3. Фульвокислоты, смолы, кислые и нейтральные битуминоиды не обладают заметной активностью по отношению к рецепторам кожи и мышц.

4. Содержащиеся в сапропеле аминокислоты — лизин, триптофан, лейцин и метионин в комплексе выступают как синергисты, взаимно способствуя проявлению рефлекторной реакции сердца. Валин не проявляет активности в этом отношении.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Солдатенков П. Ф., Смирнова М. А.** Влияние молтаевского сапропеля на сердечно-сосудистую систему.— Тр. Свердл. с.-х. ин-та, 1957, т. 1.

2. **Узбеков А. А.** Материалы к физиологическому анализу механизма действия лечебной грязи на систему кровообращения. Автореф. канд. дис. Алма-Ата, 1958.

3. **Верещагина В. С.** Экспериментальные материалы к механизму действия молтаевского сапропеля. Автореф. канд. дис. Свердловск, 1959.

4. **Агирбичану Т., Зирра А., Коммою М., Стратулат Л., Войку А.** Гистохимические исследования, относящиеся к некоторым аспектам пелоидотерапии.— Сообщения объединения научных медицинских обществ. Бухарест, 1962.

5. **Шинкаренко А. Л.** К вопросу изучения биологически активных веществ тамбуканской лечебной грязи.— Учен. зап. Пятигор. ин-та, 1957, т. 2.

6. **Шинкаренко А. Л., Миленина Н. Г.** Органические вещества лечебных грязей и их роль в механизме действия на организм. Пятигорск, 1973.

7. **Ткаченко А. А.** Влияние сапропеля на сердечную деятельность и некоторые другие физиологические процессы в животном организме. Автореф. канд. дис. Свердловск, 1965.

8. **Динкулеску Т.** Механизм действия грязелечения по исследованиям Бухарестского бальнеологического и физиотерапевтического института.— Тр. VI Всесоюз. съезда физиотерапевтов и курортологов. М., 1973.

9. **Беленький М. С.** Очередные задачи и пути улучшения и совершенствования грязелечения.— Тр. VI Всесоюз. съезда физиотерапевтов и курортологов. М., 1973.

10. **Скачедуб Г. Е.** Материалы к физиологии внутренних анализаторов. Автореф. канд. дис. Пермь, 1953.

11. **Могендович М. Р.** Рефлекторное взаимодействие локомоторной и висцеральной систем. Л., 1957.

12. **Николаев В. И.** Об отношении этилового алкоголя к рецепторам скелетной мускулатуры.— Сб. науч. тр. Чит. мед. ин-та, 1960.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT

ВОПРОСЫ СЕНСОРНОГО ВОСПРИЯТИЯ

Межвузовский сборник научных трудов

Редактор **А. С. Торощина**
Технический редактор **Э. А. Максимова**
Корректор **О. Л. Сафьянова**

Темплан 1982, поз. 213.

Сдано в набор 04.03.82. Подписано к печати 13.07.82 НС 23705. Формат 60×90 1/16. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Уч.-изд. л. 6,7. Усл.-печ. л. 6,5. Тираж 800 экз. Заказ. 157. Цена 1 руб.
Уральский ордена Трудового Красного Знамени государственный университет им. А. М. Горького. Свердловск, пр. Ленина, 51.

Типография издательства «Уральский рабочий».
Свердловск, пр. Ленина, 49

УДК 612.821

Теоретические вопросы сенсорного восприятия. Рыбин И. А. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 3—17.

Обсуждаются условия и границы применимости степенного и логарифмического психофизического закона. Высказывается предположение о возможной информационной интерпретации количественной связи между силой стимула и интенсивностью субъективного ощущения.

Библиогр. 41.

УДК 612.821

Проблема субъективного измерения в психофизике. Лупандин В. И. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 18—25.

Обсуждается проблема субъективного измерения (оценки) физических параметров сенсорного стимула. Дается интерпретация степенного закона Стивенса с точки зрения биологической целесообразности и физиологических механизмов трансформации сенсорного сигнала. Рассматриваются различные типы психофизических шкал в связи с проблемой адекватности субъективного отражения внешнего мира.

Ил. 1, библиогр. 7.

УДК 612.821.8

Зависимость субъективной оценки сенсорного стимула от плотности стимульного ряда. Терешина Л. А. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 26—32.

Исследуются кривые субъективной оценки яркости, громкости, тяжести, вкусовых ощущений при изменении плотности стимулов в предъявляемом диапазоне. Обнаружена зависимость функций субъективного шкалирования от плотности импульсного ряда, которая проявляется в виде возрастания величины экспоненты с увеличением плотности стимулов в фиксированном диапазоне интенсивности. Данные анализируются с точки зрения психофизиологических закономерностей оценки сенсорного сигнала.

Табл. 1, ил. 2, библиогр. 7.

УДК 612.821.8

Исследование величины экспоненты функции Стивенса в различных диапазонах интенсивности сенсорного стимула. Лупандин В. И., Сергеева А. Н. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 33—42.

Исследуется величина показателя степени функции Стивенса в различных диапазонах интенсивности светового и звукового раздражителей. Показана вариабельность величины экспоненты в различных участках шкалы интенсивности. Данные обсуждаются с точки зрения общих закономерностей кодирования силовых параметров раздражителя в различных сенсорных системах.

Ил. 3, библиогр. 27.

УДК 612.821.8

Экспериментальное исследование и анализ изменений величины экспоненты степенного закона Стивенса. Даниленко И. А. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 43—54.

При использовании прямых методов шкалирования зрительных и звуковых раздражителей проведено исследование изменений величины экспоненты степенного закона Стивенса в зависимости от различных факторов экспери-

ментальной ситуации. Данные анализируются с точки зрения информационной значимости для субъекта наблюдаемых изменений величины показателя степени.

Табл. 2, библиогр. 18.

УДК 612.821.8

Исследование психофизического гистерезиса. Пажетнова Л. А., Терешина Л. А. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 55—63.

Исследуются особенности функции субъективной оценки яркости, громкости, вкусового ощущения и тяжести при различной последовательности предъявления раздражителей. Изучаются количественные закономерности так называемого психофизического гистерезиса. Делается попытка выявления физиологической природы данного феномена.

Табл. 3, ил. 2, библиогр. 10.

УДК 612.821.8

О вариабельности субъективной оценки яркости. Коновалова Н. Ф. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 64—72.

Исследуется зависимость функции субъективной оценки яркости светового стимула от метода психофизического шкалирования. Показано, что при использовании различных методов шкалирования можно получить семейство кривых, промежуточных между логарифмической и экспоненциальной функциями. Данные обсуждаются с точки зрения различных способов оценки сенсорного сигнала.

Табл. 1, ил. 1, библиогр. 15.

УДК 612.821.8

О некоторых закономерностях восприятия звука. Петухова Н. Ф., Рыбин И. А. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 73—81.

В работе проводится шкалирование звукового диапазона тонального звука от 20 до 90 дБ. Установлено, что показатель степени в законе Стивенса не остается в исследуемом диапазоне постоянным. Обсуждаются границы применимости этого закона.

Табл. 3, ил. 4, библиогр. 9.

УДК 612.821

О возможности усреднения индивидуальных данных по субъективной оценке сенсорного стимула. Приходкина Л. И. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 82—85.

На основании характера распределения индивидуальных оценок громкости звукового стимула обсуждается вопрос о возможности усреднения индивидуальных данных. Показано, что при использовании различных методов усреднения полученные данные достаточно хорошо согласуются между собой. Делается вывод о том, что наиболее достоверные результаты дает усреднение по среднему арифметическому и среднему геометрическому значениям.

Табл. 1, ил. 1, библиогр. 8.

УДК 612.821.8

Влияние порядка предъявления световых стимулов на величину экспоненты Стивенса. Сергеева А. Н., Даниленко И. А. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 86—89.

Методом прямой численной оценки стимулов проведено исследование зависимости величины показателя степени закона Стивенса от порядка предъ-

явления стимулов различной яркости. Показана вариабельность величины экспоненты.

Библиогр. 8.

УДК 615.838.7

Рефлекторное кожно-кардиальное и моторно-кардиальное влияние сапропеля и его компонентов. Серов С. И., Николаев В. И., Терешин С. Ю., Дацун Л. Б., Волкова Н. А. Вопросы сенсорного восприятия. Свердловск, 1982, с. 90—95.

Изучалось действие сапропеля и его компонентов на кожные и мышечные рецепторы. Показано, что нативная грязь и ее водорастворимая фракция, а также компоненты: гуминовые и гормоноподобные соединения, микроэлементы-металлы и аминокислоты — имеют достаточно высокую физиологическую активность. Фульвокислоты, смолы, кислые и нейтральные битуминоиды не обладают выраженной активностью по отношению к рецепторам кожи и мышц.

Табл. 1, ил. 2, библиогр. 12.

UDK 612.821

Theoretical Aspects of the Sensory Perception. Rybin I. A. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 3—17.

The conditions and the regions of applicability of the power and logarithmic laws are discussed. It is supposed that quantitative relations between the sensation and stimulus intensity may be interpreted in terms of the information theory.

Bibliogr. 41.

UDK 612.821

The Problem of Subjective Measurement in Psychophysics. Lupandin V. I. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 18—25.

The problem of subjective measurement (estimation) of sensory stimulus is discussed. The interpretation of the Stevens' power law is given in terms of biological expediency and of physiological mechanisms of sensory signal transformation. Different types of psychophysical scales are considered in relation to the problem of an adequate reflection of the world.

Ill. 1, bibliogr. 7.

UDK 612.821.8

The Dependence of the Sensory Stimulus Subjective Estimation on Stimulus "Density" in a Range Investigated. Tereshina L. A. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 26—32.

The curves of subjectve estimation of brightness, loudness, weight and taste sensation are investigated in relation to the stimulus "density" in the intensity range fixed. The increasing of exponent according to stimulus density was established. Data are interpreted in terms of psychophysiological mechanisms of sensory signal estimation.

Tabl. 1, ill. 2, bibliogr. 7.

UDK 612.821.8

The Investigation of the Stevens' Power Function Exponent Value in the Different Ranges of the Intensity of Sensory Stimulus. Lupandin V. I., Sergeeva A. N. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 33—42.

Stevens' power function exponent value was investigated in the different ranges of light and sound stimulus intensity. The exponent variability in different parts of intensity scale is shown. Data are discussed in terms of general regularity of the stimulus amplitude parameters incoding in different sensory systems.

Ill. 3, bibliogr. 27.

UDK 612.821.8

Experimental Study and Analysis of Exponent Value Variations of Stevens' Power Law. Danylenko I. A. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 43—54.

The dependence of exponent value of Stevens' power law on different factors of experimental situation has been investigated by the means of direct scaling methods of visual and sound stimuli. Data are analysed in terms of

information significance of observed power exponent variations for the subjects.

Tabl. 2, bibliogr. 18.

UDK 612.821.8

The Investigation of the "Psychophysical Hysteresis". Pajetnova L. A., Tereshina L. A. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 55—63.

The parameters of the subjective estimation functions of brightness, loudness, weight and taste sensation are investigated for different sequence of stimuli. Quantitative regularities of the so-called "psychophysical hysteresis" are studied. An explanation of its physiological mechanism is given.

Tabl. 3, ill. 2, bibliogr. 10.

UDK 612.821.8

On the Variability of the Brightness Subjective Estimation. Konovalova N. F. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 64—72.

The dependence of function parameters of the brightness subjective estimation on the method of psychophysical scaling was studied. It has been shown that the use of different scaling methods leads to different forms of the psychophysical functions. There are families of curves between logarithmic and power functions. Data are interpreted in terms of different ways of estimation of sensory signals.

Tabl. 1, ill. 1, bibliogr. 15.

UDK 612.821.8

On Some Regularities of the Sound Perception. Petuchova N. F., Rybin I. A. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 73—81.

Loudness scaling in the range from 20 to 90 db was investigated. It was demonstrated that the exponent value of the Stevens' law is not constant within this range. The regions of applicability of the power law are discussed.

Tabl. 3, ill. 4, bibliogr. 9.

UDK 612.821

On Averaging of Individual Data by Subjective Estimation of Sensory Stimulus. Prichodkina L. I. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 82—85.

On the grounds of distribution parameters of the individual loudness estimates the possibility of individual d a ta averaging has been discussed. It was shown that the different methods of averaging display agree well enough. It has been established that arithmetical mean and geometrical one give the most trustworthy results.

Tabl. 1, ill. 1, bibliogr. 8.

UDK 612.821.8

The Influence of Light Stimulus Sequence on Stevens' Exponent Value. Sergeeva A. N., Danylenko I. A. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 86—89.

With a method of magnitude estimation the relations between power law exponent value and light stimuli sequence are investigated. The exponent's variability is shown.

Bibliogr. 8.

UDK 615.838.7

The Reflex Skin-cardial and Motor-cardial Influence of the Sapropel and Its Components. Serov S. I., Nikolaev V. I., Tereshin S. Iu., Dazun L. B., Volkova N. A. The Aspects of the Sensory Perception. Sverdlovsk, 1982, p. 90—95.

The influence of sapropel and its components on the skin and muscle receptors was investigated. It was shown that the native mud and its water-soluble fractions and components (gumins and hormone-like combinations, microelements and aminoacids) have high physiological activity. Fulvoacids, pitches, acid and neutral bituminoids have no pronounced activity in relation to the skin and muscle receptors.

Tabl. 1, ill. 2, bibliogr. 12.

d Its
Vol-
)—95.
nuscle
vater-
tions,
acids,
lation

1 руб.

Свердловск ◆ 1982